

MORTEROS DE CAL PARA AMBIENTES COSTEROS. SALINAS HISTÓRICAS EN LANZAROTE.



Cristina Mesa García

Tutora: Reyes Rodríguez García

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.

Trabajo fin de Grado. Grupo J. 2018/2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutora por motivarme en la investigación. Sus conocimientos y su ayuda han supuesto una parte muy importante en la realización del trabajo.

También me gustaría agradecer a mis compañeros del laboratorio por su colaboración y puedo olvidarme agradecer a las auxiliares de laboratorio, por haberme brindado su ayuda en el proceso de realización de los ensayos de esta investigación.

ÍNDICE

Resumen / Abstrac.....	7
1. Introducción.....	9
2. Contexto.....	13
3. Antecedentes.....	19
4. Objetivos.....	23
4.1. Objetivo general	
4.2. Objetivo específico	
5. Metodología.....	25
6. Procedimiento experimental.....	27
6.1. Planificación procedimiento experimental	
6.2. Preparación de probetas	
6.3. Preparación de las probetas	
6.4. Experimentación y resultados	
7. Análisis y evaluación de los resultados.....	39
7.1. Evaluación de resultados	
7.2. Análisis de resultados	
8. Conclusiones.....	49
9. Bibliografía.....	51
Anexo.....	55

“Debemos evitar la destrucción de cada muro viejo, de cada distribución, de cada vivienda en donde el tiempo haya dejado rastro histórico.

Su desaparición borraría para siempre un pasado lleno de sentido y de sabiduría aprendida por experiencia de siglos en observación y necesidad de su clima, de su latitud, de su viento, de su luz y de un increíble paisaje que determinaban un resultado de maneras de hacer, que no se puede improvisar en un corto espacio de tiempo.”

CÉSAR MANRIQUE



RESUMEN / ABSTRACT

Este trabajo caracteriza un mortero de cal para la rehabilitación de las Salinas del Río en Lanzarote. Debido al ambiente costero donde se encuentran, se propone un mortero de cal amasado con cloruro sódico, compatible con el muro base.

Este mortero propuesto se estudiará mediante normas UNE, con las que analizaremos y estudiaremos sus propiedades. Se han realizado varios ensayos que se aproximen a las situaciones a las que el mortero estará sometido en su puesta en servicio. También se evaluará la capacidad de un acabado con pintura de cal como capa protectora y mejora del comportamiento en conjunto.

El buen comportamiento de este mortero de cal amasado con agua salada es una puesta en valor del empleo de la cal, un material tradicional y sostenible, muy habitual en la arquitectura popular de la isla. Siendo éste el material idóneo para la rehabilitación de estas salinas, de gran importancia cultural y paisajista.

This essay tries to show the study of how lime mortar is used for the rehabilitation of Las Salinas del Río, a salt mine in Lanzarote. Due to the coastal environment in which the mines are located, a lime mortar mixed with sodium chloride is proposed to search the compatibility with the base wall.

This suggested mortar will be studied by UNE standards, which will help us to analyse and study its properties. Several tests have been carried out to simulate the situations the mortar will bear when they are put into service. The efficiency of whitewash as a protective layer and the overall performance improvement will also be evaluated.

The good performance of this lime mortar mixed with salt water put in value the use of lime as a very common, traditional and sustainable material in the popular architecture of the island, being the ideal material for this rehabilitation of these salt mines of great cultural and scenic landscape importance.

1. INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XIX y hasta nuestros días, se ha planteado la necesidad de recuperar los centros históricos de la mayoría de las ciudades, rehabilitando así muchos edificios patrimoniales. Para ello fue necesario crear una política de intervención hacia lo que actualmente se denomina Restauración. Se crearon unas Cartas Internacionales, como por ejemplo la Primera Carta del Restauo (1883) y la Carta de Atenas (1931), en las cuales se recogen numerosas propuestas y recomendaciones acerca de cómo debe hacerse una correcta restauración. Es un término difícil de definir ya que dependerá de las exigencias del edificio y del momento.

La definición de Restauración se ha modificado a lo largo del tiempo. A partir del siglo XIX empiezan a surgir varias corrientes que le dan al término significados muy diversos. Entre ellas encontramos la Corriente integradora de Viollet-le-Duc, la Corriente fatalista de Ruskin y la Corriente de la mínima intervención de Camilo Boito.

De estas corrientes de restauración se puede deducir algunas conclusiones para una buena restauración. Se podrían enumerar una serie de recomendaciones técnicas que posibilitan establecer unos criterios básicos [1]:

- Intervención mínima
- Respeto a la autenticidad
- Diferenciar claramente lo existente y lo restaurado
- Rechazo a reglas generales, reconociendo la individualidad de cada intervención
- Limitar las intervenciones a casos de verdadera necesidad
- Uso de materiales compatibles basado en el estudio de materiales históricos

Para la realización de este trabajo nos centraremos en el criterio básico de el uso de materiales compatibles. Al iniciar una Rehabilitación, será primordial analizar el estado actual actual de los soportes a rehabilitar. Será muy importante conocer cómo está formado ese muro y estudiar sus condiciones de estabilidad, permeabilidad y presencia de sales. Una vez conocemos su estado actual, se puede empezar a pensar con que tipo de material se va a intervenir.

Los morteros cubren una función básica en la rehabilitación de edificios y monumentos por diversas razones; entre las que cabe destacar: su carácter estético, histórico y resistente. Pero sin duda este material debe cumplir una serie de requisitos mínimos de funcionalidad, que garanticen la estabilidad de la estructura o elemento restaurado y que sean compatibles con los materiales presentes; en definitiva, que estos materiales respeten el edificio a rehabilitar.

Siempre que se vaya a introducir un mortero en una fábrica histórica, hay que analizar la interacción entre ambos y su comportamiento frente a los agentes de deterioro de cualquier tipo. Hay muchos estudios sobre las técnicas y ensayos más adecuadas para caracterizar los morteros originales de construcciones históricas. Y también hay un amplio campo de investigación centrado en nuevos materiales que aplicar en restauración, 'morteros de restauración'. Como pasos previos, se debe realizar un estudio de los distintos morteros empleados tradicionalmente [2]. Será siempre recomendable que el mortero de restauración tenga un comportamiento semejante al original, proporcionando la compatibilidad entre elementos. A excepción de pequeños cambios de comportamiento que favorezcan la protección de la fábrica original.

En la actualidad, existe una gran variedad tanto de dosificaciones como de uso de morteros. Muchos de ellos se dosifican con adiciones que, en bastantes casos perjudican el ciclo normal de transpiración de los paramentos antiguos, ente otros efectos no deseados. Esto es debido a que no consideran las

características de lo ya existente en cuanto a la porosidad y su comportamiento hídrico. El proceso de deterioro y alteración que se produce en los morteros de revestimiento de edificaciones antiguas se deben a diferentes causas. Que comprenden desde las propiedades intrínsecas del material a la mala elección de sus componentes. En el caso de obras de restauración estos efectos son más notables, como resultado de la incidencia de fenómenos relacionados con la porosidad y el empleo de materiales inadecuados y no compatibles con los originales en las obras a recubrir.

Se debe establecer una línea de ensayos y evaluación de morteros desde el punto de vista del diagnóstico y las aplicaciones en el campo de la restauración arquitectónica. Teniendo en consideración aquellas propiedades relacionadas con la porosidad y su evolución, empleando técnicas y análisis para la caracterización de los materiales y relacionándolas con las características imprescindibles en un mortero de restauración. Estas características son: fácil trabajabilidad, fraguado rápido, retracción lenta durante el fraguado, características mecánicas, térmicas y porosidad similares a las del material junto al que se coloquen, así como un contenido bajo en sales solubles [3].

La fabricación de estos morteros ha sufrido varios cambios, partiendo de una elaboración artesanal hasta una fabricación industrial. Se emplean cada vez más procedimientos industriales muy elaborados y que garanticen la producción de morteros de máxima calidad. En la actualidad la producción artesanal prácticamente ha desaparecido, lo que ha dado lugar a la creación de una técnica moderna. A pesar de que el mercado proporciona muchos productos para el campo de las intervenciones es necesario revitalizar las técnicas operativas del pasado ya que darán una respuesta más cercana a lo existente [1].

La importancia de la porosidad y la accesibilidad del agua son los aspectos más relacionados con los procesos de alteración y durabilidad de los materiales de construcción, problema que afecta tanto a la arquitectura histórica como a la moderna. Las condiciones de mantenimiento son gravemente alteradas por la acción del agua, especialmente si trasporta sales solubles y la no adecuación de las dosificaciones en los morteros. Esto conlleva a la limitación de transpirabilidad de los muros o paredes, lo cual se acentúa en el caso de obras de restauración arquitectónica. Por ello es importante estudiar las dosificaciones de los morteros para la restauración y la adecuación de las especificaciones de compatibilidad con los materiales originales [3].

Los morteros tradicionales constituyen la alternativa lógica y razonable a los morteros actuales si pretendemos restaurar/rehabilitar patrimonio. La esencia del problema que vamos a desarrollar es cómo obtener morteros semejantes a los tradicionales, pero con materias primas actuales y con prestaciones y adecuaciones de uso apropiadas para la restauración.

Cada caso concreto necesitará de una actuación personalizada acorde con esta filosofía. Para poder aplicar esta metodología hay que evaluar y predecir el comportamiento de los materiales empleados. Se encuentran dificultades en la normalización de estos morteros de restauración, ya que hay que compaginar los ensayos de calidad cumpliendo la normativa actual, con el análisis de las técnicas aplicadas en las construcciones históricas. Así pues, necesitamos morteros cuyo comportamiento/durabilidad sea bien conocido y fácilmente predecible; este es uno de los condicionantes más evidentes e importantes a la hora de elegir un mortero de restauración.

El producto final depende mucho de las materias primas que componen la mezcla. El constituyente básico es el conglomerante, es el componente que dota al material de la capacidad de endurecer y a la vez hacerlo trabajable y plastificante.

Históricamente el ligante por excelencia ha sido la cal, aunque también cabe mencionar a la arcilla, el yeso y el betún. Debido a que ha sido el ligante más usado la elaboración de la cal ha variado a lo largo del tiempo, en concreto el método de producción y el tipo de horno. Pero su proceso de obtención es sencillo y ha permanecido invariable, consiste básicamente en la calcinación de roca carbonatada, fundamentalmente calizas (CO_3Ca). La descomposición del material se consigue a elevadas temperaturas, con lo que se obtiene cal viva (CaO). Es apagada con agua formándose la portlandita ($\text{Ca}(\text{OH}_2)$), como resultado final de esta reacción exotérmica se obtiene un polvo blanquecino.

Los productos a base de cal constituyen una propuesta creciente en los últimos años. Su uso como material de restauración para la conservación de edificios históricos es la aplicación más destacada en este documento, en base a su compatibilidad con el tipo de materiales de construcción empleado. Sin embargo, la cal es un material de interés para otras aplicaciones industriales como el procesamiento de alimentos, la desinfección, tratamiento de agua, captura de SO_2 postcombustión, siderurgia, plásticos, vidrio, refino de azúcar y agricultura. Actualmente están surgiendo otras aplicaciones de interés que muestran un potencial utilizar en el futuro como estabilizador de materiales de demolición, tales como ladrillo triturado y pavimento de hormigón triturado, para su aplicación en la construcción de carreteras. En todos los casos, su interés ambiental destaca por reducir la emisión de CO_2 a la atmósfera.

La cal es un material obtenido a través de un conjunto de procesos que se incluyen dentro del término ciclo de cal. Este proceso se lleva a cabo en caldera u hornos, siendo los más usados los verticales que permiten la introducción del material desde la parte superior. El apagado de la misma se puede realizar de varias formas: al aire, por fusión, por aspersión o por inmersión. Finalizado este tratamiento, se debe dejar almacenado el producto al menos durante tres años para su correcta maduración. Hay gran variedad y tipos de cales que tienen diferentes calidades.

Desde comienzos de este siglo, las notables propiedades del cemento Portland hacen que sustituya a los morteros tradicionales; conforme lo que pueden llamarse morteros de base cementicia. A finales de siglo XX y comienzos del siglo XXI la tendencia en el mercado ha sido la presencia de cementos cada vez más aditivados.

Podemos afirmar que el uso de estos conglomerantes de base cementicia en rehabilitación de patrimonio histórico artístico ha generado numerosos problemas. Cuyo origen proviene, en gran medida, de la falta de una evaluación de su resultado en períodos de tiempo prolongados. Se han necesitado 40-50 años desde el comienzo de su aplicación para poder empezar a conocer sus patologías y problemas derivados de su empleo. No olvidemos que el tiempo de servicio es uno de los elementos esenciales de distinción entre obra civil moderna (donde muchas construcciones se levantan sabiendo que su período de vida útil será de 60 a 80 años) y restauración de edificios de patrimonio, cuya vida útil aspiramos a que sea “eterna” o, por no ser pretenciosos, al menos de miles de años. Aunque las limitaciones en el uso del cemento podrían haberse deducido de la anterior consideración, su empleo generalizado en restauraciones durante la primera mitad del siglo XX (y parte de la segunda) ha proporcionado numerosos datos sobre lo inadecuado de su uso y los problemas que conlleva.

El origen de numerosas patologías de sales que deterioran el patrimonio restaurado con morteros modernos encuentra su origen en el cemento Portland. Ya que tienen ligado a él una serie de sales. Esta introducción de sales ha provocado situaciones dramáticas para el patrimonio, acelerando el deterioro de sus elementos. Deterioro que es difícil de frenar, ya que una detención de este pasaría por desmontar y sanear todo lo restaurado.

Al ser materiales recientes, existe una gran incertidumbre sobre sus patologías, evolución temporal e interacción con otros materiales, y todavía no tenemos un intervalo de tiempo suficiente para evaluar todos estos problemas de comportamiento y consecuentemente actuar con seguridad a la hora de darles un uso apropiado en edificios protegidos. A finales del siglo XX, además de más productos de la gama Portland, toman el relevo, dentro de la tecnología de morteros, las adiciones de resinas y otros muchos aditivos poliméricos. Estas suponen un cambio filosófico en la composición del ligante y en el proceso de fraguado, y acerca de ellos solo existe una experiencia de unos 10-20 años, como para poder saber cuál será su evolución en servicio.

Cómo podemos observar, la rehabilitación de edificios patrimoniales es un tema complejo y polémico, uno de cuyos ejes esenciales pasa por los morteros a utilizar y su forma de aplicación. Se busca que este trabajo sirva como una aproximación a esta compleja problemática.

2. CONTEXTO

Este trabajo se centrará en la restauración de las Salinas del Río y para la realización del Trabajo fin de Grado se cuenta con la información del proyecto de ejecución de la restauración. Estas salinas se encuentran en el municipio de Haría, en el norte de la isla de Lanzarote.

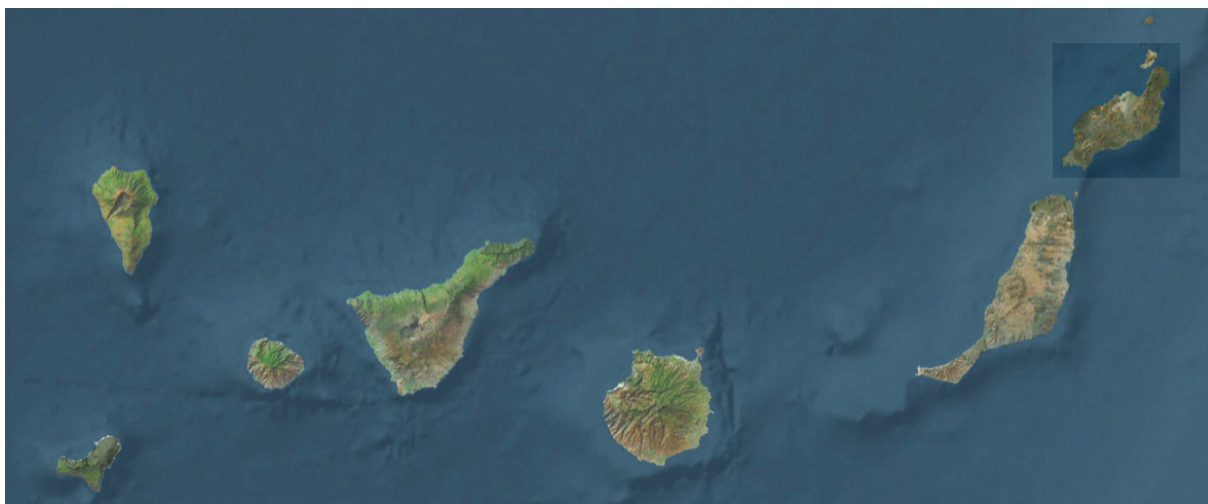


Figura 1 – Captura aérea Islas canarias, España. Web: Google Earth.



Figura 2 – Captura aérea Lanzarote. Web: Google Earth.



Figura 3 – Captura aérea Municipio Haría. Web: Google Earth.



Figura 4 – Captura aérea Salinas del Río. Imagen del autor.

Lanzarote, isla tropical situada en las zonas templadas del Trópico de Cáncer, es una de las islas más antiguas de Canarias, su superficie es de 756 km². La mayor parte de la isla es un campo de volcanes, con erupciones alineadas, excepto el Macizo de Famara al norte y el Macizo Ajaches al sur. Estos dos macizos contrastan con la erosión que posee la isla

Debido al escaso relieve (Figura 5), la isla tiene un clima árido y la escasez de agua ha sido el mayor problema. Aunque en la situación norte de las salinas y en la base del Macizo de Famara, zona más alta de la isla con 650 m, se produce cúmulo de nubes que concentra las precipitaciones y aumenta la humedad relativa del aire. Cabe destacar la existencia de fuertes vientos locales tanto por su orientación abierta a norte como por el gradiente de presión entre la parte baja y alta del macizo. La temperatura media anual está en torno 19-20°C, aunque en verano puede superar los 30°C y aumentar aún más con las calimas saharianas.

Las salinas se abastecen del agua del brazo, llamado el Río, que les da nombre. Como se observa en la Figura 6, vemos que se encuentra ente la isla de Lanzarote y de La Graciosa. Tiene 1 km de media de ancho y no supera los 20m de profundidad.

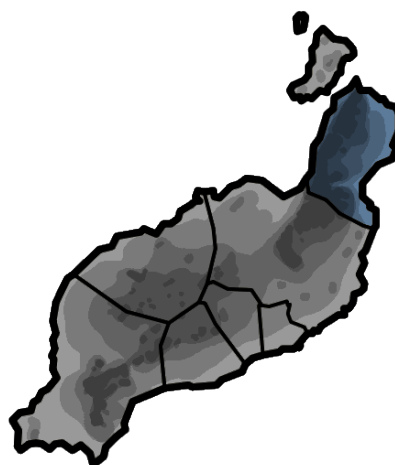


Figura 5 – Topografía de Lanzarote. Imagen del autor.



Figura 6 – Vistas desde el Mirador del Río. Web: <https://www.viajeroerrante.com/10-paisajes-de-lanzarote-vacaciones/>

Son las salinas más antiguas de las Islas Canarias, su construcción se inicia hacia el año 1500. El nombre le viene dado por la ubicación al borde del estrecho brazo de mar que separa de la isla de La Graciosa. Tras los años se han ampliado sucesivamente en el tiempo, con varias fases y sistemas diferentes de explotación. Hacia 1926 comienza su declive, debido a que ya había numerosas salinas en la isla con más facilidades de acceso y transporte. Su explotación se detiene en 1971 [4].

Constituyen un reclamo turístico, ambiental, paisajístico y cultural, y configuran una seña de identidad de Lanzarote. Por ello, se encuentran recogidas y protegidas por numerosas instituciones: protegidas en el Plan General de Haría, son Sistema General Insular del PIOL¹ de Lanzarote, incluidas en Zona de Núcleo de Reserva de la Biosfera de Lanzarote, son LIC², son zona ZEPA³, se incorporaron como Bien de Interés Cultural, se encuentran en Dominio Público de costas y están incluidos en el Espacio Natural del Parque del Archipiélago de Chinijo. Todas estas figuras de protección permiten la práctica de las actividades salineras, pero la situación de abandono ha acelerado su deterioro y degradación.

En 1993 se redactó un Plan Especial de Protección y Proyecto de Rehabilitación de las Salinas del Río, dentro del Programa REGIS de Recuperación de Salinas Canarias. Pero nunca se llegó a realizar en ellas esta actuación ni se tramitó el Plan Especial de Protección. En el 2013 se redactó un Estudio de

¹ Plan Insular de Ordenación de Lanzarote.

² Lugares de Importancia Comunitaria.

³ Zonas de Especial Protección para las Aves.

Evaluación Científica de las mismas y un Estudio Básico de Impacto Ecológico.

Hasta 2018 no se vuelve a retomar su rehabilitación, y las salinas se encuentran en un avanzado estado de deterioro con la rotura del fuerte de defensa. En este año, se pone en marcha el proyecto de Ejecución de la Restauración Paisajística de las Salinas del Río.



Figura 7 – Salinas del Río. Fuente: Proyecto de ejecución restauración paisajística de las Salinas del Río [4].

Las Salinas de Río son las primeras salinas tradicionales construidas en Canarias. Este tipo de salinas mantiene el proceso natural de las lagunas saladas, de superficie extensa y plana. En ella hay una pequeña lámina de agua, se llenaba de forma natural por la intrusión marina, de la que se va recogiendo la capa de sal de los bordes. A esto se le añade un proceso más en el que se va haciendo pasar el agua por distintos recipientes de mayor a menor tamaño, produciéndose un aumento de la concentración salina. Con ello se consigue aumentar el rendimiento de la producción a principios del siglo XVII.

Son unas salinas que han tenido una alta producción, debido también a su gran entidad. Fue una gran exportadora en las islas, fundamentalmente a Tenerife. La isla de Lanzarote ha sido siempre una gran productora de sal y cuenta con varias salinas importantes, como lo son las Salinas de Janubio.

Este proceso experimental sobre la laguna heredada, cuyo fondo de barro asegura su impermeabilización del suelo, empieza tras un apisonamiento del fondo. Consiste en la construcción de los diferentes muros, se excavaron zancas en las que se encajarían. Muchos de ellos están contruidos con mampostería de piedra y revestido de mortero de cal. La cal se realizó con piedras del lugar, quemadas en el Horno de Gusa (Figura 8).



Figura 8 – Horno de cal en Gusa. Web: <https://lanzaroteinexplorada.blogspot.com/2015/02/caleras-de-la-villa-de-teguise-1-parte.html>

Las salinas deben cumplir cuatro principios fundamentales para que se pueda posibilitar su viabilidad económica y no entren en desuso y por ende abandono. Dichos principios fundamentales son: elevación, graduación e impermeabilización. La problemática de estas salinas reside en el incumplimiento de estos principios.

-La elevación se resuelve mediante el Fuerte de Defensa. Es el elemento principal y uno de los principios básicos para el funcionamiento de la salina. Es el que impide la intrusión del agua, que impediría el desarrollo de la gradación salina y por tanto no obtener sal, “no hay salina sin fuerte”¹.

-La graduación se realiza mediante dos pasos, pero no se consigue debido a la intrusión marina.

-La impermeabilización está resuelta mediante el fondo de barro natural de gran espesor, heredado de la laguna salada original. Pero los muros perimetrales si que tienen problemas de estanqueidad.

En las figuras, 9 y 10, se adjuntan los planos explicativos del funcionamiento de las Salinas del Río. Para poder entender de manera más gráfica los principios fundamentales de las mismas.

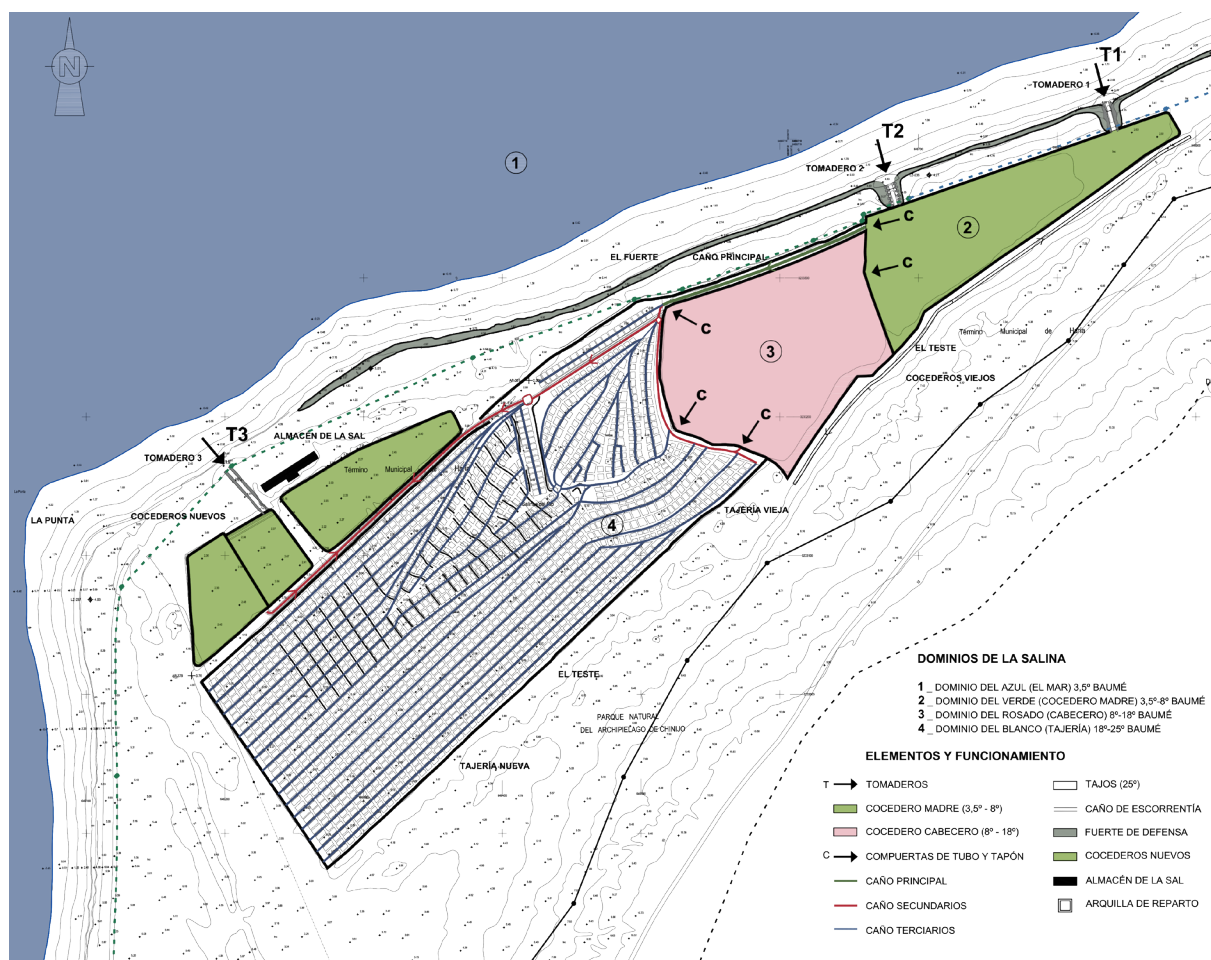


Figura 9 – Elementos y funcionamiento de las Salinas del Río. Fuente: Proyecto de ejecución restauración paisajística de las Salinas del Río [4]

SECCIÓN LONGITUDINAL SALINAS DEL RÍO

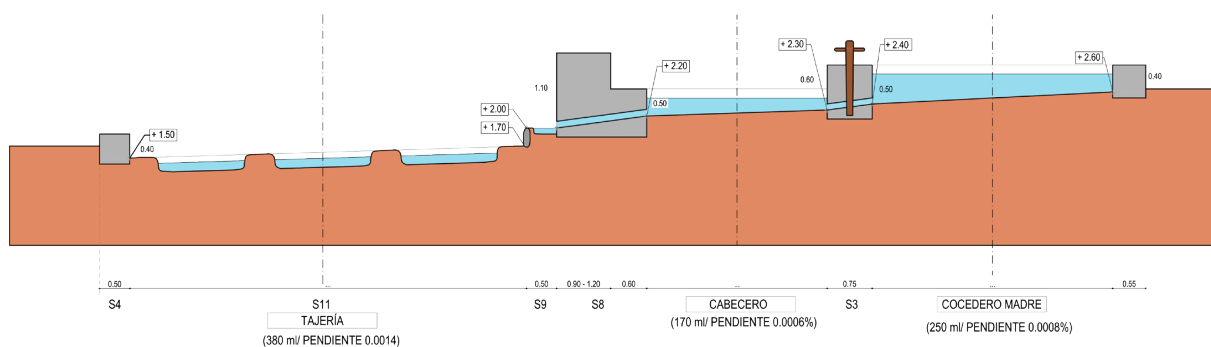


Figura 10 – Sección longitudinal de las Salinas del Río. Fuente: Proyecto de ejecución restauración paisajística de las Salinas del Río [4].

¹ Expresión coloquial explicación salinas. (Proyecto Ejecución Restauración Paisajística de las Salinas del Río, 1º Fase)

Nos centraremos en el estado de lo cocederos, los cuales son muros frontales constituidos por una sección de fábrica de mampostería de callao² medio o pequeño y mortero de cal. Se encuentran con problemas de pérdida de rejuntado y caída de callao principalmente en la cabeza del muro. Los muros laterales son de sección más pequeña y están constituidos por fábrica de callao y barro, revestidas ambas caras con mortero de cal. Presentan también caída de callaos en sus cabezas, que serán repuestas en la restauración aprovechando este material caído. A continuación, se adjunta una planta (Figura 11) en la que poder localizar los muros a tratar y sus secciones constructivas (Figura 12).

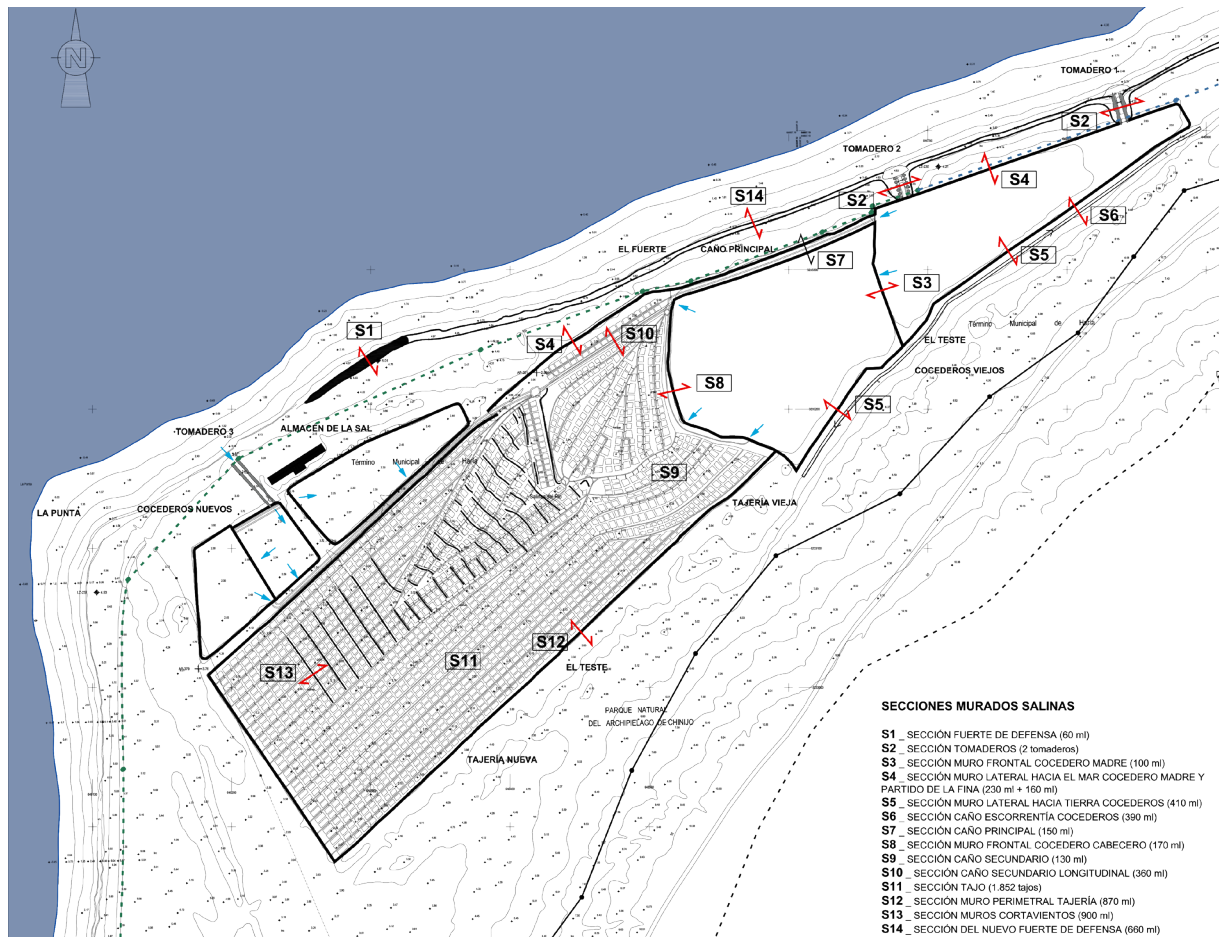


Figura 11 – Planta secciones constructivas. Fuente: Proyecto de ejecución restauración paisajística de las Salinas del Río [4].

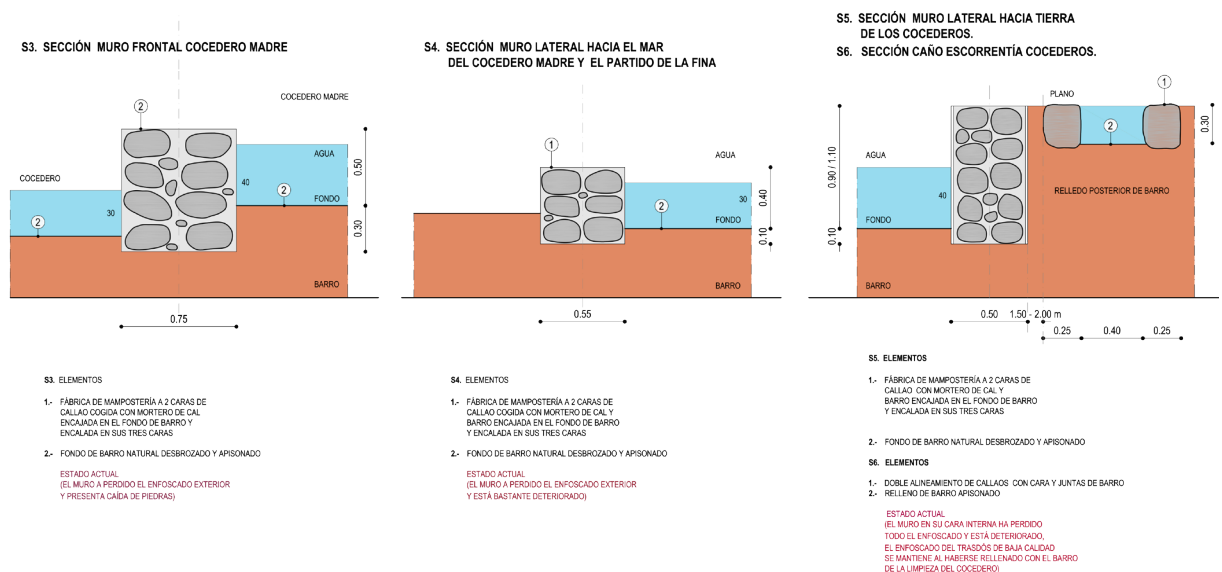


Figura 12 – Secciones de muros. Fuente: Proyecto de ejecución restauración paisajística de las Salinas del Río [4].

² Término dialectal canario cuya procedencia pudiera corresponder al francés <caillou> (canto, guijarro) o proceder del gallego-portugués <calhau> que significa lo mismo. (DÍAZ HERNÁNDEZ, R. (2008))

Las salinas son intervenciones territoriales que tienen un tremendo interés cultural y arquitectónico, de ahí la necesidad de protegerlas y conservar su valor e interés.

“Toda persona que haya visitado unas Salinas en funcionamiento, habrá experimentado el tremendo influjo que ejerce tan singular paisaje. Sin poder explicar la armonía de tal ingenio humano, recurrimos a términos como belleza o arte para poder expresar el delicado equilibrio entre una arquitectura humana que es una industria para la producción de la sal, y la exquisita cultura desarrollada en su diseño” [4].

Las salinas tienen un claro interés como paisaje, por su forma de adaptarse al medio, como de imponerse al mismo. Tanto por su composición de celdas en trama, con la perspectiva de las montañas de sal, la quietud de las láminas de agua como su infinidad de tonos verdes, rosados o amarillos. A nivel de Geografía tiene gran interés su localización estratégica, en la que se optimicen los recursos físicos y energéticos. Son claramente un ingenio constructivo con valor arquitectónico, no solo por la belleza de sus formas y la construcción de sus volúmenes, sino por su trazado y su implantación en el medio. Se heredan los conocimientos adquiridos de los sistemas de captación e impulsión, se facilita el trabajo del hombre y se trazan un sistema de riego de las mismas salinas.

“En ese universo de contradicciones y de valores se debate el futuro de las salinas tradicionales, donde la pérdida del valor intrínseco de la sal y del interés cultural y ambiental de las salinas parece un recuerdo del pasado, si bien todo recurso que tiene valor tiene la obligación de permanecer, en este caso vinculado a la calidad diferencial de la sal marina tradicional” [4].

3. ANTECEDENTES

Encontramos que el descubrimiento de la cal es un gran avance en la técnica de construcción, ya que es un material que es capaz de endurecer y comportarse como un material pétreo natural. Es trabajable, con la dosificación adecuada de agua, cuando está fresca. Presenta unas propiedades físico-mecánicas aceptables, es durable al endurecer y tiene una buena adherencia. De ahí que sea un material que ha tenido y tiene innumerables formas de uso, como material de unión entre piezas del soporte y como material de acabado superficial.

La arquitectura vernácula tradicional, como podemos ver en la Figura 13, utiliza unos materiales básicos de piedra, madera y cal, formando muros de mampostería que se encalaban. Se aplicaba un primer revestimiento con mortero de cal, menos rico, para formar una primera superficie sobre la que se aplicaba una lechada rica en cal. “La disposición por capas, con tamaño de poros, resistencias mecánicas y granulometrías decreciendo hacia el exterior (aumento de la cantidad de cal en la relación cal/árido).” Favorece y aumenta la superficie de evaporación por capilaridad, y por lo tanto la permeabilidad del revestimiento hacia el exterior, con “capas cada vez más flexibles y débiles (módulo de elasticidad decreciente), que permiten su fácil y eficaz mantenimiento” [5].

Y a pesar de algunas transformaciones que se produzcan en la arquitectura canaria, de composiciones y sistemas constructivos, siempre se emplearán esos materiales (Figura 13)w. Ya que son los materiales de mayor calidad y disponibilidad.



Figura 13 – Arquitectura vernácula en Lanzarote. Web: <http://mirandoatravesdeuncristal.blogspot.com/2012/06/arquitectura-de-lanzarote-la-de.html>.

La cal comenzó empleándose como conglomerante de los muros de piedras, hasta que con la mejora en la ejecución de los revestimientos de mortero cal, se comienza el encalado de paramentos que antes era a piedra descubierta. La mayor producción se da en Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria, convirtiéndose en importante industria histórica.

Francisco Mireles Betancor define en su artículo Uso tradicional de la cal [7], como “La Cal como elemento constructivo se ha empleado en Canarias con posterioridad a la Conquista. El Uso de este componente no sólo se ha producido en construcciones civiles tradicionales como estanques y acequias. La plasticidad de la cal, fuera de la acción descomponente del agua del mar, permitió que formara parte del mortero en castillos y muelles en el litoral desde el siglo XVI”.

Por todas estas buenas cualidades para su producción, y debido a que las islas contaban con reservas naturales de este material, resulta muy ventajoso el empleo de morteros de cal. Las piedras calizas abundan en las islas más orientales, Fuerteventura, Lanzarote y Gran Canaria. Hay documentos que datan su empleo desde 1776, en los que dicen que, en la isla de Lanzarote, “...se encuentra en esta isla por todas partes canteras de piedra de cal” [6].

Y no sólo para la construcción, sino que también se empleaba para el blanqueo del azúcar del siglo XVI, potabilización del agua, descomposición de cadáveres y saneado de viviendas en época de epidemias.

Para obras hidráulicas, se empleaba una argamasa de cal hidráulica y tierra arcillosa, se denominaba popularmente como ‘mezcla real’. “En relación al uso de argamasas en la ejecución de muros de mampostería en ambiente marino, se especifica que la tierra utilizada debía ser mineralizada, consistente en la denominada “tierra virgen o tierra que nunca ha sido plantada”. La tierra virgen se mezclaba con árido resultante de la erosión natural del risco, y con agua salada. El mortero resultante tenía una consistencia plástica y con poca contracción en el secado. En la ejecución de los muros de mampostería de este tipo de construcciones, este mortero de barro se utilizaba para el ripiado, combinado con el uso en superficie de un mortero de cal hidráulica y arena” [5]. Se aplicaba antiguamente en castillos, acequias, estanques, salinas, fuertes y obras hidráulicas en general. Esta tenía la propiedad de fraguado rápido y era empleada en obras que tenían contacto inmediato con el agua. La técnica para un comportamiento era mantener siempre la superficie humedecida mientras se elaboraban los paramentos, y al finalizarse se llenaba. Con ello se conseguía que “la obra llorase hacia el exterior” y consiguiendo así un perfecto fraguado.

Cabe destacar el buen estado de conservación de varias edificaciones civiles señalando que estas construcciones se encuentran ubicadas en un ambiente marino agresivo. Especialmente de los castillos de la Luz, de Mata y de San Cristóbal, que se encuentran en la isla de Gran Canaria y datan entre 1500 y 1700. “Este hecho demuestra la bondad de los sistemas constructivos empleados y los materiales ejecutados. Morteros y argamasas tradicionales de la construcción canaria que aprovechan las cualidades de las cales y los áridos de canto rodado de las propias playas, los cuales se encuentran sin alteración ninguna. Tal resultado no es de extrañar, porque todas las cales de la provincia de Las Palmas de Gran Canaria son en mayor o menor medida son hidráulicas”. Este hecho demuestra que, a pesar del tiempo transcurrido, la aplicación segura de los morteros en las obras de mar sin temor alguno [5].

Los instrumentos empleados para la extracción de las piedras eran muy rudimentarios: picos, palas, cuñas y barras, hasta que se alcanzaba un tamaño razonable para su manejo.

En cuanto a la calidad resultante del material Suárez Moreno comenta que: “los Caliches más puros producen un producto muy blanco, la cal aérea, que necesita del aire atmosférico para su fraguado y se emplea en los encalados y albeos de los inmuebles; en cambio, cuando contiene sílice, producen una cal menos blanca no muy apta para la construcción doméstica; pero indispensable en las obras hidráulicas pues fragua muy bien debajo del agua y por este motivo se le denomina cal hidráulica”.

Se han podido documentar en Canarias, unos hornos rudimentarios y antiguos, eran una estructura semienterrada de piedra revestida en su interior con mortero de barro y arena. En ellos se introducía la cal y la madera para la combustión.

Para su producción, se empezaron a construir en las islas numerosos hornos de cal. Estos hornos tienen forma de cono truncado (truncocónica), pero con el orificio más estrecho abajo. Constituidos con piedra y mortero de barro, en el interior estaba recubierto de una gruesa capa de barro y arena.

Dispone en el interior de un empujillado sustentado con vigas empotradas en la pared de detrás del horno. Sobre ese empujillado se depositaba la piedra de cal sobre un puente de hierro por delante.

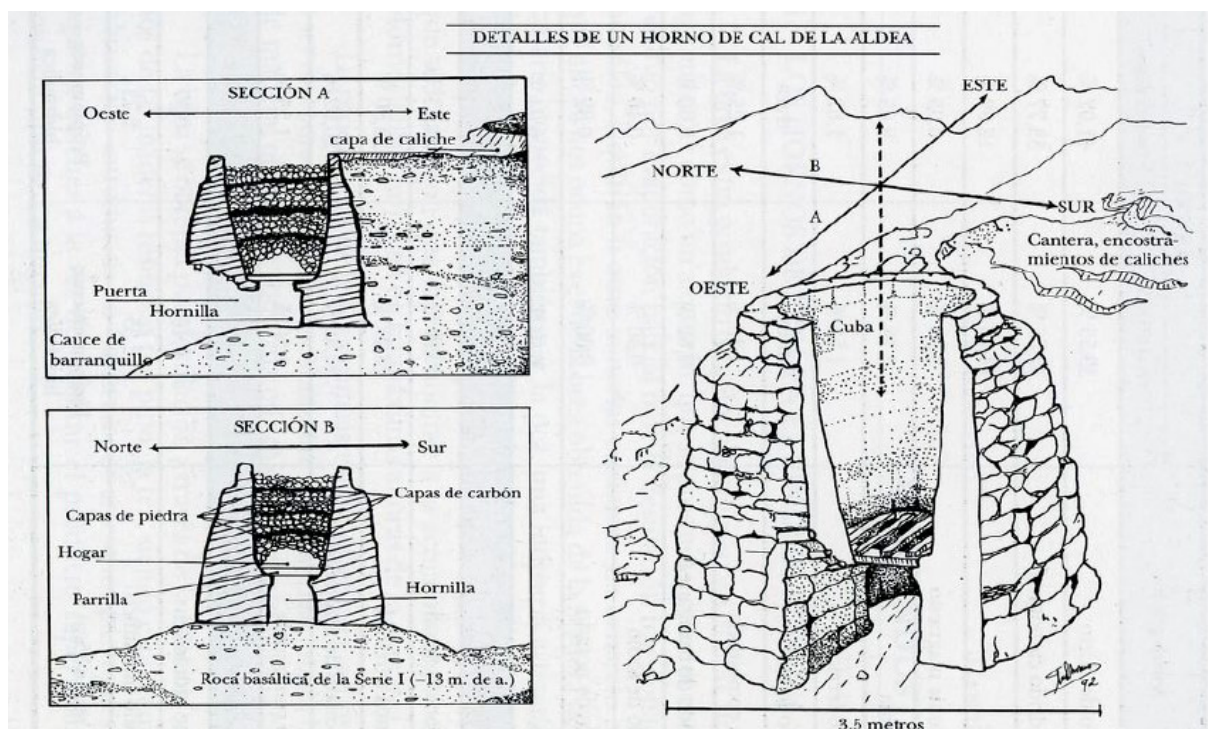


Figura 14 – Estructura horno de cal. Fuente: Juan de León y Castillo, y el uso tradicional de la cal [7].

El gran horno necesitaba de 5-6 días para quemar, alcanzando temperaturas entre 800 y 1000 °C. Para quemarla en un principio se usaron matorrales, pastos y aulagas hasta que llegó el carbón. Una vez cocida la piedra, se sacaba y se dejaba enfriar con agua.

La escasez de cal en las restantes islas favoreció que desde comienzos del siglo XVI se iniciara su exportación, especialmente hacia Tenerife y La Palma. También Gran Canaria exportaba un poco. Asimismo, llegaba cal a estas islas desde Portugal y otros países. La casi totalidad de la piedra de cal enviada desde Lanzarote a Tenerife era cocida en el gran horno de Santa Cruz.

En el siglo XIX se fueron construyendo más hornos en Lanzarote y en las demás islas. Y se empezó a aumentar la producción y la importación. “Por otro lado, fueron varios los vecinos que, aprovechando matos, quemaban en hornos provisionales la piedra necesaria para producir la cal con la que construían sus casas. Hay más de 20 solicitudes de este tipo, sobre todo en la zona de Famara y en La Graciosa.” Su uso se reforzó debido a que se fomentó el saneado de las viviendas con cal ante el riesgo de que volviera a brotar la epidemia de cólera morbo. Esto junto a el aumento de la producción que permitió la disminución del precio.

En los años 60 la industria de la cal comenzó a decaer y muchos hornos dejaron de funcionar. No se sustituyó directamente la cal, por la irrupción del cemento. Se seguía considerando positivamente como componente de morteros y hormigones combinada con el cemento. Mantuvo su uso hasta mediados del siglo XX como impermeabilización de azoteas y estanques. En contraposición con estas soluciones que necesitaban de un mantenimiento continuo, aparecen nuevos sistemas que se presentan como soluciones que no requieren prácticamente de mantenimiento. Además, poseen mejores garantías de impermeabilización, que consisten en sistemas que emplean asfaltos y betunes. Estos nuevos materiales se hicieron populares y se desarrollan comercialmente durante el siglo XX.

La industria de la cal se considera una de las industrias históricas más importantes del archipiélago. Su producción se realizaba en hornos, los cuales debían estar localizados en parajes y terrenos abiertos, alejados de toda vivienda. Fue una industria que se fue perfeccionando y mejorando su producción de cal. “Los barcos llevaban granos, cueros, sal, queso... Estos artículos los cargaban en el Puerto de Arrecife, y de allí pasaban al de Janubio para cargar la piedra de cal, o al Río a cargar sal.” Donde vemos la

importancia de la exportación de la isla, y vemos cómo se mencionan ambos materiales importantes en este trabajo, la industria calera y salera [6].

Se debe constatar el valor de la cal como mortero y elemento constructivo debido a las propiedades plásticas que posee en restauraciones y rehabilitaciones de inmuebles y elementos de ingeniería popular. Francisco Mireles Betancor en su artículo [5] reivindica la cal por sus grandes ventajas frente al cemento Portland, en las que enumera varios usos de la cal dependiendo de la calidad de esta.

También destaca los hornos y caleras como parte del patrimonio y del paisaje donde están instaladas. “La Arquitectura de la cal ha contribuido a la construcción de la identidad de las zonas en las que está enclavada y ha singularizado estos entornos, dotándolos personalidad propia” [7].



Figura 15 – Hornos de cal de Janubio (izq.) y de Chimida (drcha.). Web: <http://lanzaroteinedita.blogspot.com/2013/07/caleras-de-lanzarote.html>



Figura 16 – Horno de cal de Gordillo's cal de Morón. Web: <http://www.gordilloscaldemoron.com/galeria/>

En 2011 la producción artesanal de cal de Morón recibe el galardón de la UNESCO y es inscrita en la lista de programas, proyectos y actividades para salvaguarda del Patrimonio y declarada Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad en su apartado de buenas prácticas.

La práctica de la fabricación tradicional de la cal ha sido durante mucho tiempo una fuente de empleos para Morón de la Frontera, y también un signo distintivo de su identidad. Cuando la fabricación industrial de la cal hizo declinar la producción artesanal, los hornos caleros se dejaron de utilizar y la transmisión de conocimientos cesó. El objetivo primordial del proyecto es hacer cobrar conciencia de la importancia que reviste la práctica de la fabricación artesanal de la cal, así como mejorar las condiciones de vida de los artesanos caleros.



Figura 17 – Horno de cal de Gordillo's cal de Morón. Imagen del autor.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Con este trabajo lo que se pretende es caracterizar un mortero de cal que ha sido amasado con cloruro sódico. Es decir, es el estudio y ensayo de morteros de cal tradicionales para poder ser empleado en la restauración de las Salinas de Río. Y que con esta aplicación se realice una intervención adecuada, buscando la durabilidad y mantenimiento de esta edificación que mantiene tanto valor cultural, arquitectónico y social.

Esta intervención es un buen ejemplo de una correcta rehabilitación, donde se parte de un exhaustivo análisis de lo preexistente y se puede intervenir con todos los medios y con una adecuada solución. Y con la caracterización de este mortero de cal amasado con cloruro sódico, se espera poder reproducirlo en cualquier ambiente costero.

Una de las situaciones que más dificultades que presenta para su rehabilitación son los ambientes costeros, donde hay una alta cantidad de cloruro sódico, una de las sales que contiene el agua salada marina. Se debe buscar un material que pueda tener un buen comportamiento en este tipo de ambientes. Se pretende emular un mortero igual al que está colocado, es decir que tenga su misma composición. Dicho mortero contiene sal, por lo que amasaremos este mortero de cal con cloruro sódico.

La absorción y desorción de agua será el aspecto más importante que tratar, sobre todo la desorción. Si hay peligro de patologías salinas hay que saber que las sales tienden a emigrar hacia el material que tarda más en secar, consecuentemente, será bueno que el mortero de restauración seque ligeramente más tarde. No obstante, se debe atender a las consecuencias de permeabilidad al vapor en el conjunto de la fábrica, ya que si seca más tarde es que tiene menos permeabilidad al vapor que el mortero de comparación.

4.2. Objetivos específicos

Se busca establecer el efecto que el agua salada puede tener en las resistencias mecánicas de los morteros, haciendo ensayos de resistencia y haciendo ensayos que pongan al límite su integridad. Tras estos ensayos, se deberá comprobar la estructura interna del material, para observar sus variaciones con respecto al comportamiento frente al paso de agua y de vapor de agua.

Con el análisis de los resultados obtenidos se podrán evaluar qué medidas se deberán destinar para la protección de los paramentos realizados con mortero de cal. En este trabajo se ha propuesto una posible medida: disponer un acabado de pintura de cal, de la que se deberá comprobar su comportamiento con el mortero que se propone, su capacidad protectora y su influencia sobre él.

Otro objetivo que busca el trabajo es reducir el empleo de agua en la construcción, debido a que la mayor problemática en la isla es su escasez de agua. Consecuencia de las bajas precipitaciones en ella, dificultada por un clima árido y su bajo relieve, desde 1964 se han instalado varias plantas desaladoras de agua que garantizan las necesidades de agua dulce.

La construcción exige abundantes cantidades de agua en su proceso, lo que provoca que tengan que llegar barcos con agua dulce para poder realizar esta actividad. Esto provoca un incremento del coste y del impacto ambiental de la obra. Por ello, con este mortero de cal amasado con agua salada, se pretende reducir el consumo de agua dulce, siendo un gran aspecto de mejora para la construcción en la isla.

5. METODOLOGÍA

Para la realización de esta investigación se va a definir una metodología que posibilite la caracterización de los productos. Se aplicará la normativa vigente española para morteros de albañilería (UNE) y las indicaciones del fabricante, Gordillo's cal de Morón.

El primer paso será adecuar las condiciones del amasado de los morteros para que tengan, en masa, la composición y cantidad de sales que permitan reproducir el efecto de estar dosificadas con agua de mar. Para ello se empleará agua con cloruro sódico disuelto.

El efecto que va a provocar debe evaluarse mediante la realización de una serie de ensayos que se van a seleccionar en el contexto de las normas UNE. Aunque el tiempo disponible no permite una caracterización exhaustiva, se tratará de obtener respuestas en distintos aspectos, por lo que, en el plan de ensayos, se han seleccionado tres principales: Respuesta frente al agua, respuesta mecánica y de puesta en servicio.

Los ensayos se realizarán en el laboratorio del departamento de Construcciones Arquitectónicas 1 de la Escuela Superior de Arquitectura de Sevilla (ETSAS). Todos los ensayos están regulados por la norma UNE-EN-1015, especificaciones para morteros de albañilería.

La respuesta frente al agua se efectuará con el ensayo de permeabilidad (UNE-EN-1015-19), la respuesta mecánica se evaluará mediante ensayos de flexión y compresión de diferentes formatos de probetas (UNE-EN-1015-11) y, por último, su respuesta frente a la acción de las sales solubles eflorescencias (UNE_83830=2010). Hay muchos más ensayos que podrían facilitar la caracterización del mortero que se va a diseñar, pero dado el límite de tiempo que tiene este trabajo no se pueden abarcar todos. A pesar de ello, con los ensayos realizados se aportará suficiente información previa para evaluar el comportamiento de dicho mortero y su posterior desarrollo.

Una vez realizados los ensayos, se procederá a la descripción de los análisis de resultados y la comparativa con las normas UNE a considerar y los datos específicos de la cal aérea del fabricante de cales Gordillo's.

6. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

6.1. Planificación procedimiento experimental

Previo al desarrollo experimental, junto con mi tutora, hemos planificado el procedimiento experimental base fundamental para el desarrollo de este trabajo. Entendiendo el trabajo de rehabilitación de las Salinas del Río y la aplicación que tendrá este mortero de restauración prevemos 5 ensayos: resistencia a flexión y compresión, eflorescibilidad, capilaridad, ciclos de humectación-secado y permeabilidad. Todos ellos se harán para probetas con pintura de cal y sin ella, procedentes de la misma amasada.

1- Resistencia: se necesitará un mínimo de 6 probetas prismáticas de 4x4x16 cm, sin pintura posterior.

2- Eflorescibilidad: se harán 6 probetas prismáticas de 4x4x16 cm, sin pintura, y otras 6 probetas con pintura.

3- Capilaridad: se harán 3 probetas prismáticas de 4x4x16 cm, sin pintura, y otras 3 probetas con pintura.

4- Ciclos humectación - secado: se harán 3 probetas prismáticas de 4x4x16 cm, sin pintura, y otras 3 probetas con pintura.

5- Permeabilidad al vapor de agua: se necesitan 10 probetas circulares de 16 cm de diámetro y un espesor medio de 1cm. De esas 10 probetas, 5 se colocan para la disolución de nitrato potásico (KNO_3) y otras 5 para la de cloruro de litio (LiCl). Se harán 10 probetas sin pintura, y otras 10 probetas con pintura.

6.2. Preparación de la amasada

La dosificación de los distintos componentes de los que estará compuesto el mortero, es el paso previo y fundamental para un buen funcionamiento de este trabajo de experimentación. La amasada de mortero de cal aérea se ha realizado siguiendo las instrucciones del fabricante, Gordillo's cal de Morón. Este aconseja que para cada kilo de cal se le añadirá un 22% de agua en peso.

Por lo tanto, tras los cálculos oportunos el peso necesario de cal aérea base para todas las probetas es de 27,5 kg, con lo que será necesario 6,05kg de agua (Figura 18).

$$27,5 \text{ kg} * 22\% \text{ kg agua} = 6,05 \text{ kg agua}$$

Como se ha explicado anteriormente se va a caracterizar un mortero amasado con agua salada, debido a que el peso del agua salada es mayor debemos calcular el volumen a añadir.

$$1 \text{ l agua salada} = 1,02 \text{ kg}$$

$$6,05 \text{ kg} * (1 \text{ l agua salada} / 1,02 \text{ kg}) = 5,93 \text{ l agua salada}$$

Una vez obtenemos cuanta cantidad de agua a añadir, se debe calcular la cantidad de sal. Con el dato de salinidad aportado por el equipo de ejecución de la rehabilitación calcularemos que cantidad de cloruro sódico se le debe añadir (Figura 19).

$$35 \text{ gr} / (\text{l agua}) * 5,93 \text{ l agua} = 207,55 \text{ gr} = 0,207 \text{ kg}$$



Figura 18 – Amasada de mortero CLB y agua. Imagen del autor.



Figura 19 – Sal a añadir. Imagen del autor.

6.3. Preparación de las probetas

Una vez tenemos claro qué ensayos, cuantas probetas y la cantidad de material necesario para la amasada, comenzamos a prepararla. Pesamos los 27,5 kg de cal base aérea y tras una previa disolución de los 6,05 litros de agua con los 0,207 kg de sal, se mezcla todo. Debido a la elevada cantidad de material se empleará la batidora mecánica que facilite el trabajo y asegure la correcta trabajabilidad del material.

Una vez tenemos una correcta trabajabilidad de la mezcla comenzamos con los primeros ensayos a realizar. Serán los de consistencia y densidad, estos datos son necesarios para conocer el estado de las pastas frescas que será relevante en algunas propiedades.

Consistencia (UNE EN-1015-3). Los materiales necesarios para realizar este ensayo son una mesa de sacudidas normalizada, un molde troncocónico, una paleta, un pisón normalizado, una regla metálica para enrasar y un pie de rey para medir el diámetro tras las sacudidas.

Densidad (UNE EN-1015-6). Para realizar este ensayo se emplea un recipiente metálico normalizado de 1l, una regla metálica para enrasar, una paleta y una balanza con una capacidad al menos de 5kg y una precisión de 1mg.

Una vez realizados estos ensayos se procederá a colocar las amasadas en los moldes tal y como explican las normativas correspondientes.

Resistencia (UNE-EN-1015-11). Se necesitarán moldes metálicos de probetas de dimensiones 16x4x4 cm, pisón, gasas de algodón blanco, papel de filtro absorbente, bolsas de polietileno, dos placas de vidrio, regla metálica para enrasar y una paleta (Figura 21).



Figura 20 – Consistencia. Imagen del autor.



Figura 21 – Realización probetas según UNE-EN-1015-11. Imagen del autor.



Una vez realizado el proceso tal como indica la norma, se introduce el molde dentro de la bolsa de plástico para mantenerse con una humedad constante del 95% y una temperatura de 20°C (Figura 22). El tiempo de curado se refleja en la tabla adjunta en la norma. La siguiente tabla (Figura 23) muestra el tiempo, la temperatura y la humedad en las que las probetas tienen que estar mientras se curan.



Figura 22 – Curado a 95%HR y 20°C. Imagen del autor.

Tabla 1
Preparación y condiciones de conservación de las probetas

Tipo de mortero	Preparación	Duración de la conservación a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, en días		
		Humedad relativa		
		95% \pm 5% o en una bolsa de polietileno		65% \pm 5%
		En el molde	Una vez que se ha retirado el molde	Una vez que se ha retirado el molde
Morteros de cal aérea	7.2.3	5	2	21
Morteros de cal aérea/cemento en los que la masa de cemento no es superior al 50% de la masa total de conglomerante	7.2.3	5	2	21
Morteros de cemento y de cal aérea/cemento en los que la masa de cal aérea no es superior al 50% de la masa total de conglomerante	7.2.2	2	5	21
Morteros con otros conglomerantes hidráulicos	7.2.2	2	5	21
Morteros retardados	7.2.2	5	2	21

Figura 23 – Tabla tiempo de fraguado. Fuente: UNE 1015 11.

Las probetas necesarias para los ensayos de eflorescibilidad y ciclos de humectación y secado, se harán siguiendo estas mismas indicaciones.

Permeabilidad al vapor de agua (UNE-EN-1015-19). La realización de las probetas que se van a ensayar es similar a las de resistencia, solo que los moldes son de diferente forma y tamaño. Una vez colocadas las amasadas en los moldes (Figura 24), hay que tener las probetas cubiertas para que no pierdan humedad durante los primeros días de fraguado, después se destaparán y estarán en proceso de secado unos días más. Se utilizará la misma tabla que para el ensayo de resistencia para los tiempos de fraguado.



Figura 24 – Preparación probetas para ensayo de permeabilidad al vapor de agua. Imagen del autor.

Capilaridad (UNE-EN-1015-18). Se necesitarán moldes metálicos de probetas de dimensiones 16x4x4 cm, pisón, papel de filtro absorbente, bolsas de polietileno, regla metálica para enrasar y una paleta.

Previo colocación de las paredes de los moldes se coloca un papel de filtro absorbente en la parte inferior. Se colocan las paredes y se aprietan. Se rellena el molde y se enrasa. Se le coloca una capa de papel absorbente en la superficie del mortero (Figura 25).

Por último, se introduce el molde dentro de la bolsa de plástico para mantenerse con una humedad constante del 95% y una temperatura de 20°C. Las condiciones de curado se reflejan en la tabla adjunta (Figura 23) en la norma, muestra el tiempo, la temperatura y la humedad de las probetas.

Una vez que dispongamos de las probetas endurecidas, tras haber transcurridos los 28 días de curado (Figura 26), se procederá a realizar los ensayos específicos.

En total se han realizado 50 probetas, debido a que se han calculado el número de probetas para cada ensayo en concreto se ha hecho una codificación para que sean más fáciles de organizar los datos que se obtendrán, se adjunta estos códigos en la Tabla 1.



Figura 25 — Preparación probetas ensayo capilaridad. Imagen del autor.

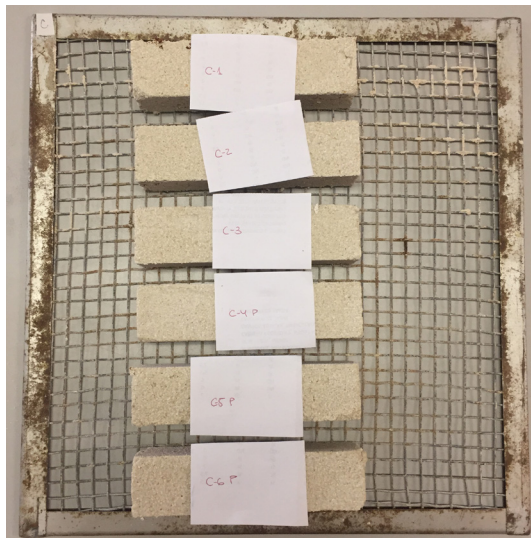
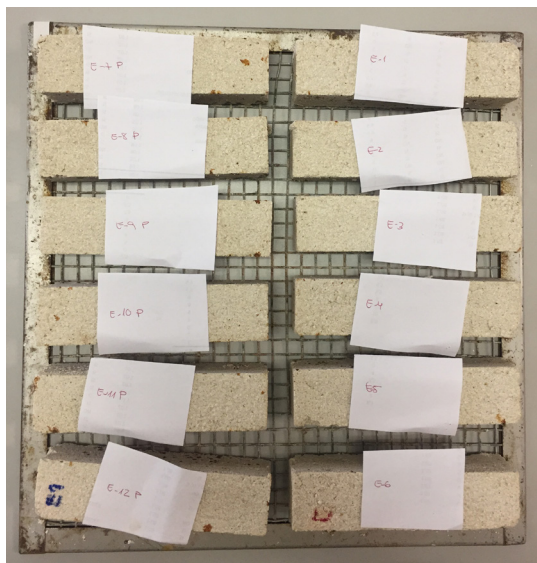
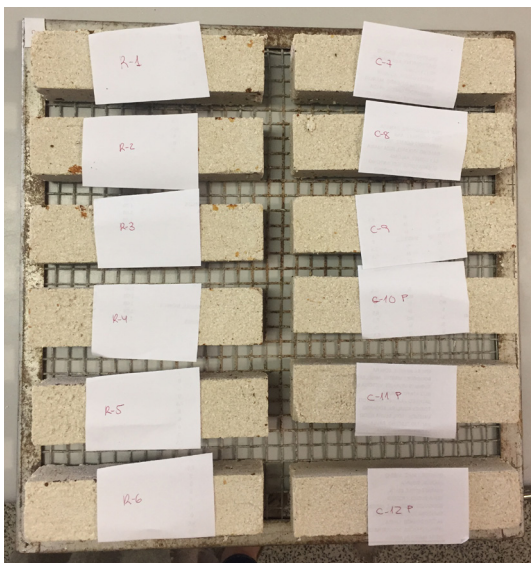


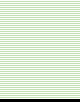








Figura 26 — Probetas endurecidas. Imagen del autor.

PROBETA	CÓDIGO	ENSAYO	COLOR
R-1	R	Resistencia	
R-2			
R-3			
R-4			
R-5			
R-6			
E-1	Ev	Eflorescibilidad vertical	
E-2			
E-3			
E-4	Eh	Eflorescibilidad horizontal	
E-5			
E-6			
E-7P	EvP	Eflorescibilidad vertical	
E-8P		Pintura	
E-9P			
E-10P	EhP	Eflorescibilidad horizontal	
E-11P		Pintura	
E-12P			
C-1	C	Capilaridad	
C-2			
C-3			
C-4P	CP	Capilaridad	
C-5P		Pintura	
C-6P			
C-7	Chs	Ciclo Humectación y secado	
C-8			
C-9			
C-10P	ChsP	Ciclo Humectación y secado	
C-11P		Pintura	
C-12P			





PROBETA	CÓDIGO	ENSAYO	COLOR
P-1	P	Permeabilidad KNO3	
P-2			
P-3			
P-4			
P-5			
P-6	P	Permeabilidad LiCl	
P-7			
P-8			
P-9			
P-10			
P-1P	PP	Permeabilidad KNO3	
P-2P			
P-3P			
P-4P			
P-5P			
P-6P	PP	Permeabilidad LiCl	
P-7P			
P-8P			
P-9P			
P-10P			

Tabla 1— Código probetas. Imagen del autor.

6.4. Experimentación y resultados

Esta fase experimental es la parte esencial y principal de la investigación, donde se busca los resultados del funcionamiento de este mortero amasado con cloruro sódico en todos los ámbitos ya mencionados y el efecto que pudiera tener la aplicación de la pintura de cal. Todos estos ensayos se plantean a través de la normativa vigente española, normas UNE-EN de experimentación en el ámbito de los morteros de albañilería, y que puede ser aplicable a nuestro mortero.

Cada ensayo a realizar tiene una norma UNE-EN que regulará su proceso de desarrollo, acotando la metodología todo lo posible. Se ha decidido marcar como unidades base:

Peso: gr // Densidad aparente: kg/cm³ // Presión: kg/cm² // Ultrasonidos: m/s // Tiempo: minutos // Dimensiones: mm

Aunque se indicaran en los valores de las tablas y los gráficos.

1-Resistencia (UNE-EN-1015-11). Las pruebas de resistencia a flexión son las primeras que se realizan. Se parten las probetas de 4x4x16cm a flexión y, posteriormente, la compresión de los prismas resultantes. La prensa utilizada para la realización de los ensayos es una prensa multiensayo de 300kN, marca Codein S.L. modelo MCO-30. La prensa se calibró a una presión de 100 N/s, provista de dispositivos adaptables que capacitan la rotura de las probetas aplicándole esa carga controlada por ordenador. La superficie del pisón es de 160 mm² (40x40mm) y la base consta de dos rodillos metálicos colocados en paralelo, separados entre sí 100mm.

La tabla siguiente (Tabla 2) recoge los valores de resistencia, así como el resto de los datos medidos de estas probetas sometidas a flexión y compresión.

Resistencia	Peso (gr)	Densidad aparente (gr/cm3)	Humedad (%WME)	Ultrasonidos (m/s)	Flexión (kg/cm2)	Compresión (kg/cm2)	
						A	B
R-1	410,23	105018,88	15,7	1889	4,92	7,88	7,69
R-2	418,87	107230,72	16	1845	7,27	8,00	8,19
R-3	414,41	106088,96	16,4	1896	5,86	7,75	8,56
R-4	401,87	102878,72	16,4	2033	6,33	9,75	9,25
R-5	404,49	103549,44	15,1	1990	7,27	10,50	9,19
R-6	406,97	104184,32	15,6	2075	8,67	10,63	10,44

Tabla 2 - Resultados ensayo resistencia.

2-Eflorescibilidad (UNE-83830). Se situarán las probetas sobre una rejilla en la bandeja, elevada 10-15mm del fondo de esta. La bandeja se debe situar sobre una superficie estable y mantenerse sin moverse durante todo el ensayo (Figura 28).

En ella se sumergirán en 5mm de agua destilada que cubre la parte inferior de la probeta. El nivel de agua se debe mantener constante durante todo el periodo de ensayo (Figura 27), añadiendo agua destilada cuando sea necesario.

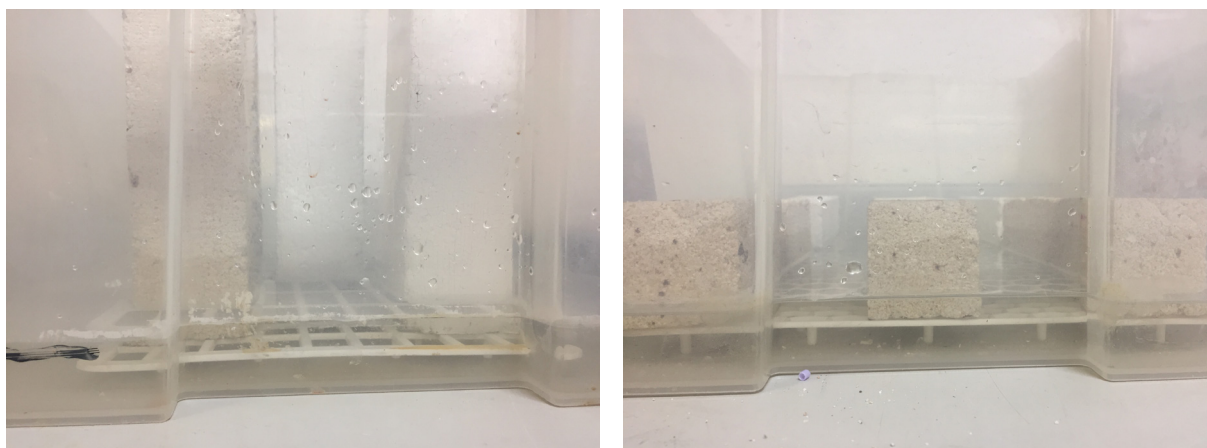


Figura 27 – Probetas ensayo eflorescibilidad [Ev (izq) y Eh (drcha)] sumergidas. Imagen del autor.

Se realizarán adaptaciones del ensayo según Norma, debido a que se busca conseguir con el ensayo la situación más parecida a su situación real. La norma dice que dispondrán las probetas en posición vertical [Ev], de tal manera que se facilite el contacto del líquido con la parte inferior de las probetas. Se decide hacer el ensayo también con las probetas en horizontal [Eh], de forma que responda a su posición en la realidad. Debido a que su puesta en servicio estará sometido a empujes horizontales produciéndose una situación más desfavorable. Aunque al disponer las probetas en vertical, como indica la norma, se propicia la eflorescibilidad de las probetas, debido a que se produce más succión al haber más superficie por la que ascender.

Como se ha explicado anteriormente otra de las adaptaciones consiste en duplicar el ensayo para probetas con acabado de pintura [EvP y EhP] y sin él [Ev y Eh], porque su efecto se considera un factor muy importante que definir en el trabajo. Se pintarán todas sus caras a excepción de la cara que sirva de base, es decir, en el caso de las verticales se dejará sin pintar la cara corta de base y en el caso de las horizontales la cara larga de base.

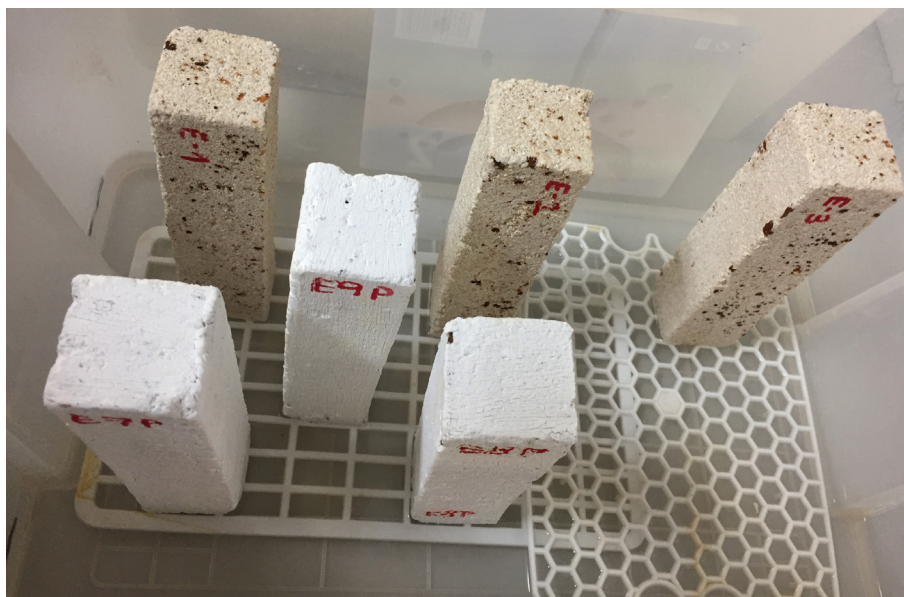


Figura 28 – Probetas ensayo efluorescibilidad [Ev], preparadas para el ensayo. Imagen del autor.

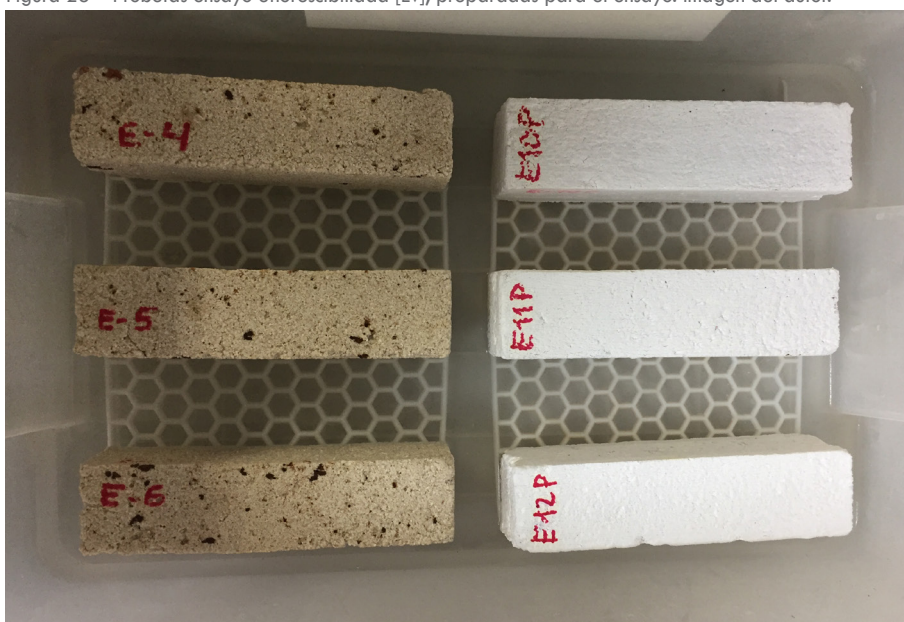


Figura 29 – Probetas ensayo efluorescibilidad [Eh], preparadas para el ensayo. Imagen del autor.

El ensayo se debe realizar en una sala acondicionada a 20°C y 65% de humedad relativa, durará 7 días. En los que se observará diariamente la superficie de las probetas, para comprobar la posible aparición de efluorescencias en su superficie. Si existen sales solubles en el mortero, la disolución asciende por capilaridad, y cuando por evaporación se elimina el agua aparece sales blancas (efluorescencias) en la superficie del mortero. También se prolongará en el tiempo el ensayo, realizando observaciones visuales todos los días y toma de resultados cada siete.

Consideramos que al realizar estas variaciones se conseguirá un ensayo de efluorescibilidad más completo y detallado, ya que se determinan mayor número de variantes y posibilidades.

3-Capilaridad (UNE-EN-1015-18). La norma dice que se sellarán las 4 caras mayores de las probetas utilizando el material de sellado especificado. Para nuestro ensayo las hemos sellado con parafina y hemos hecho lo mismo con otras 3 probetas, pero con pintura. Una vez están secas se procede a romper dichas probetas en dos mitades.

Antes de empezar con el ensayo las probetas deben estar a masa constante, se secarán en estufa a 40°C, como se observa en la imagen siguiente. Tras 48 h en estufa se consiguió, que en las pesadas

cada 24 h no hubiera una diferencia mayor del 0,2% de la masa total (Figura 30).

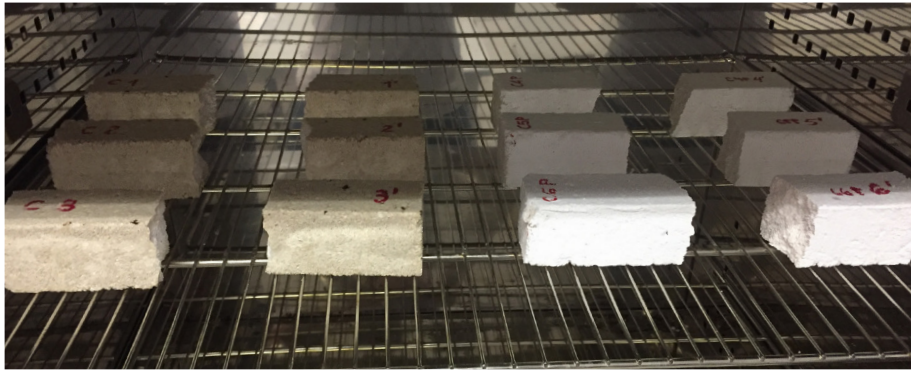


Figura 30 – Probetas ensayo capilaridad [C], . Imagen del autor.

Una vez se han enfriado se puede dar inicio al ensayo. Se dispuso una rejilla que eleva 5 mm del fondo de la bandeja, de forma que fuera muy pequeña la superficie de la probeta en contacto con el soporte. Se situarán las superficies por la que se han roto hacia abajo, y se sumergirán las probetas en 5mm y 10mm de agua durante toda la duración del ensayo. Se cubre la bandeja para evitar la evaporación de agua. Podemos observar en las siguientes imágenes, Figura 31, la realización del ensayo.



Figura 31 – Ensayo de capilaridad [C y CP]. Imagen del autor.

El ensayo consiste en realizar dos pesadas en la duración del ensayo, primero a los 10 min de haber sido sumergidas y después a los 90 min. La diferencia entre ambas pesadas nos indica la cantidad de agua que absorbe por capilaridad las probetas [C y CP], estos datos quedan recogidos en la tabla adjuntada (Tabla 3).

Peso (gr)	0'	10'	90'
C-1	206,18	210,52	218,58
C-1.1'	211,31	215,91	224,41
C-2	218,51	222,82	230,74
C-2.2'	197,07	201,35	208,26
C-3	200,04	204,52	212,81
C-3.3'	217,79	222,47	230,37
C-4P	191,41	200,13	211,71
C-4P.4'	217,03	226,24	237,61
C-5P	213,59	222,56	233,79
C-5P.5'	201,00	210,20	222,11
C-6P	227,11	237,01	248,45
C-6P.6'	187,94	197,97	209,68

Tabla 3 - Resultados ensayo capilaridad.

Podemos observar como todos los valores han incrementado gradualmente, sin encontrar ninguno que distorsione o que no hay cumplido los objetivos del ensayo. De esta forma se cuantifica el incremento de peso, debido a la absorción por capilaridad que sufren las probetas al estar sumergidas durante un periodo de tiempo.

4-Ciclos humectación secado. El procedimiento experimental de este ensayo se basa en la repetición cíclica alterna de inmersión y secado (Figura 32). En este proceso se acentúa la acción de un agente de alteración, en este caso el agua. Para ello se ha estimado la realización de 4 ciclos, en los que se tendrán por periodos sumergidas en agua y en estufa. Esto permite la evaluación del envejecimiento artificial acelerado, aproximándose a situaciones reales, de las probetas [Chs y ChsP].

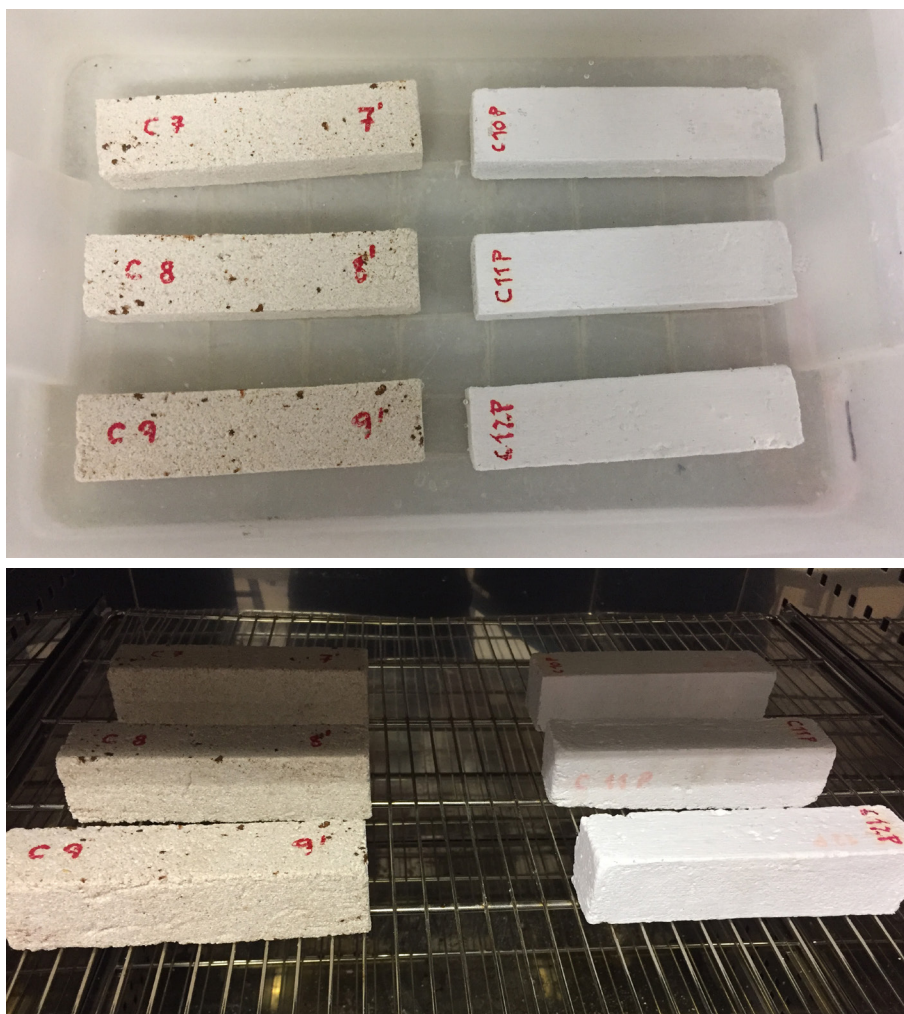


Figura 32 – Ensayo ciclos humectación y secado [Chs y ChsP], probetas sumergidas y en estufa. Imagen del autor.

Los resultados de estos ensayos de envejecimiento artificial pueden provocar conclusiones erróneas o a predicciones poco fiables. Por lo tanto, para realizar una correcta interpretación de los resultados obtenidos es necesario establecer una serie de criterios adecuados en cada caso. La selección de estos criterios debe hacerse en función del tipo de ensayo, los objetivos perseguidos y el material ensayado [8].

Los criterios que se evaluarán son:

- Observaciones de la superficie. Las realizaremos mediante la toma de fotos y toma de medidas en cada cambio de ciclo (Figura 33), en la siguiente tabla (Tabla 4) se adjunta la toma de medidas de las probetas.

Medidas (mm)	14-may Secas	15-may Húmedas	16-may Secas	17-may Húmedas	20-may Secas	21-may Húmedas	24-may Secas	27-may Húmedas
C-7	40,1	40,0	40,0	40,2	40,0	40,0	40,2	40,1
	38,2	38,5	38,1	38,6	38,6	38,7	38,5	38,6
	159,9	159,8	159,9	159,9	159,9	159,9	159,8	159,8
C-8	39,8	39,6	39,7	40,2	39,7	40,0	39,7	39,7
	39,0	38,5	39,4	39,1	39,0	39,2	39,0	39,2
	159,9	159,7	159,8	159,6	159,6	159,7	159,7	159,6
C-9	40,1	39,9	39,9	40,1	39,9	39,9	39,9	39,9
	39,3	38,8	39,1	39,1	39,0	39,0	39,1	39,0
	159,7	159,7	159,8	159,8	159,7	159,7	159,8	159,8
C-10P	40,0	39,8	39,9	39,9	40,1	40,1	40,1	40,0
	38,7	38,6	39,4	39,5	39,8	39,8	39,3	39,2
	159,9	159,9	159,9	159,8	159,8	159,8	159,8	159,8
C-11P	40	39,9	40,2	40	39,9	40,2	39,9	39,8
	39,2	39,2	39,2	39,6	39,7	39,4	39,3	39,2
	159,8	159,8	159,9	159,8	159,8	159,9	159,8	159,7
C-12P	40	40	40	40	40,1	40,1	40,2	39,9
	39	38,7	38,6	38,6	38,8	38,7	38,7	38,7
	159,9	159,8	159,8	159,8	159,8	159,9	159,7	159,8

Tabla 4 - Medidas de las probetas del ensayo de ciclos de humectación y secado [Chs y ChsP].



Figura 33 – Probetas ensayo ciclos de humectación y secado [Chs y ChsP], observación visual y toma de datos. Imagen del autor.

- Pérdida de peso. Se han recogido todos los pesos en cada cambio de ciclo (Tabla 5), pudiéndose observar las variaciones de ganancia y pérdida de peso en función de la fase del ciclo que se encuentre.

Peso (gr)	14-may Secas	15-may Húmedas	16-may Secas	17-may Húmedas	20-may Secas	21-may Húmedas	24-may Secas	27-may Húmedas
C-7	414,97	465,88	423,06	466,16	413,04	464,88	412,43	465,09
C-8	404,32	454,2	409,69	454,8	402,4	454,02	401,91	454,57
C-9	411,25	461,29	417,37	461,91	409,34	461,12	409,11	462
C-10P	424,15	475,77	432,01	475,76	422,16	475,48	421,67	475,93
C-11P	419,99	471,46	426,95	471,79	418	470,97	417,44	471,16
C-12P	420,62	471,79	425,83	471,48	418,36	471,45	418,15	473,28

Tabla 5 - Pesos de las probetas del ensayo de ciclos de humectación y secado [Chs y ChsP].

- Variaciones de propiedades físicas. Se ha considerado que la propiedad más interesante de ver sus cambios es la de velocidad de transmisión de ultrasonidos, debido al sistema poroso del mortero de cal. Este se puede ver afectado por las modificaciones que se podrían desencadenar con las variaciones provocadas por los ciclos de humectación y secado (Tabla 6). Al analizarlo se podría obtener información de posibles daños internos a través de esta propiedad dinámica.

Ultrasonidos (m/s)	14-may Secas	16-may Secas	20-may Secas	24-may Secas
C-7	1990	1826	1902	1923
C-8	2028	1845	1902	1918
C-9	1983	1816	1914	1923
C-10P	2036	1937	1930	1935
C-11P	2049	1831	1869	1889
C-12P	2033	1912	1946	1923

Tabla 6 - Datos de ultrasonidos de las probetas del ensayo de ciclos de humectación y secado [Chs y ChsP].

5-Permeabilidad al vapor de agua (UNE-EN-1015-19). Los utensilios y aparatos necesarios para realizar este ensayo son: Recipiente de ensayo circular, balanza, junta de estanqueidad plástica, disolución saturada de nitrato potásico (KNO_3), disolución saturada de cloruro de litio (LiCl), cámara para conservación de las probetas, pateta y gasas de algodón.

Una vez han fraguado las probetas circulares, de 160 mm de diámetro y 15 mm de espesor, se colocan en los recipientes plásticos con las disoluciones en su interior. Se colocan los 20 círculos en los recipientes sin que toquen la disolución, dejando una cámara de aire como mínimo de 10 mm, y el sobrante de espacio se sellará con una tira de plástico sellador para que sea el material transpirable. Se necesitan 10 probetas por amasada, 5 por cada disolución. A partir de la primera pesada hasta que hayan pasado 5 días, las probetas han de ser pesadas cada 24h, para comprobar la diferencia de peso (vapor de agua) que ha absorbido la probeta.

Previo al ensayo se deben medir los espesores de cada probeta en cuatro puntos antes de ser colocados en los recipientes para tener una comparativa de expansiones o retracciones en relación a la absorción o desorción del vapor.

El ensayo consistirá en observar el cambio de peso de las probetas tras 5 días de estar introducidas en la cámara a 50% de humedad relativa y una temperatura de 20°C (Figura 34). Con ello se proporciona el grado de absorción de estas.



Figura 34 – Probetas ensayo de permeabilidad [P y PP], dentro de la cámara. Imagen del autor.

Mediante el control de pesos (Tabla 7 y 8), permitiéndonos establecer la diferencia de peso entre el estado inicial y el estado final de las probetas, se proporciona el grado de absorción de estas.

	Peso (gr)	14-may. 12:10	15-may. 12:02	16-may. 11:17	17-may. 10:55	20-may. 11:25
Disolución LiCl	P-1P	597,42	594,82	590,97	586,20	573,11
	P-2P	661,62	659,47	656,23	652,01	641,50
	P-3P	672,15	669,89	666,38	660,99	646,32
	P-4P	644,38	642,03	638,63	634,41	624,19
	P-5P	680,07	672,85	667,11	660,83	645,48
Disolución KNO ₃	P-6P	757,32	759,58	761,86	764,05	770,54
	P-7P	726,96	729,66	732,29	734,86	742,60
	P-8P	737,86	740,35	742,82	745,23	752,15
	P-9P	742,71	745,38	747,81	750,24	757,78
	P-10P	740,79	743,12	745,44	747,70	754,71

Tabla 7 - Pesos de las probetas del ensayo de permeabilidad [P].

	Peso (gr)	14-may. 11:49	15-may. 11:56	16-may. 11:13	17-may. 10:49	20-may. 11:15
Disolución LiCl	P-1	630,63	627,63	623,59	619,19	607,80
	P-2	573,49	566,79	559,30	549,63	525,88
	P-3	604,96	602,22	598,88	593,88	581,42
	P-4	666,40	663,68	659,48	653,48	640,54
	P-5	691,84	688,35	683,82	677,65	663,02
Disolución KNO ₃	P-6	704,67	707,57	710,20	712,87	720,81
	P-7	715,05	717,83	720,82	723,53	731,60
	P-8	703,36	706,74	709,43	712,18	720,57
	P-9	725,54	728,46	731,20	733,84	742,02
	P-10	722,67	725,48	728,23	730,81	738,92

Tabla 8 - Pesos de las probetas del ensayo de permeabilidad [PP].

El cálculo de la permeabilidad al vapor de agua se consigue de la relación entre las dimensiones del espesor de la probeta y los valores que se obtienen del control de peso de los recipientes durante 5 días consecutivos. Se relaciona ese peso diferencial con el tiempo, lo que se denomina Permeanza al vapor de agua, es decir, la diferencia unitaria de la presión de vapor de agua entre dos caras del material.

7. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tras la realización de los ensayos se procede analizar los resultados obtenidos. Para aquellos en los que sea posible encontrar datos de referencia del tipo de mortero empleado [9], se utilizarán también para evaluar las modificaciones que ha supuesto la adición de sal al agua de amasado. El mortero sin aditivar se denomina CLB y el mortero realizado para este trabajo se va a denominar S_CLB.

7.1. Evaluación de resultados

1- Resistencias mecánicas y evaluación de la compacidad mediante ultrasonidos. En la tabla siguiente (Tabla 9) se muestran los datos obtenidos tanto para S_CLB como para CLB.

		CLB	S_CLB
Flexión	kg/cm ²	6,00	6,72
Compresión	kg/cm ²	9,8	8,98
Ultrasonido	m/s	1730	1955

Tabla 9 - Comparación resistencias CLB y S_CLB.

Podemos observar cómo hay una pequeña mejora de las resistencias del mortero que se propone frente al base. Esto puede ser debido a que las sales que contiene el mortero que se propone [S_CLB] le proporcionan ese leve aumento de resistencia cuando se le somete a un esfuerzo a flexión. Por el contrario, la resistencia del S_CLB es algo inferior al mortero CLB que tomamos como referencia. Esto es debido a que las conexiones entre las partículas de cal poseen más resistencia que las conexiones entre sales. Pero este descenso no es muy excesivo si tenemos en cuenta las proporciones de cal y sal en el mortero que estamos caracterizando.

Con respecto a ultrasonidos, queda justificado que sea superior el mortero que se propone frente al base, ya que las sales aumentan la compacidad del mortero y como consecuencia hace que el sonido tarde más en atravesar la probeta.

2-Eflorescibilidad. Se han observado diariamente la superficie de las probetas, para comprobar la posible aparición de eflorescencias en su superficie, cómo podemos observar en las Figura 35 y 36. Si existen sales solubles en el mortero, la disolución asciende por capilaridad, y cuando por evaporación se elimina el agua aparece sales blancas (eflorescencias) en la superficie del mortero.

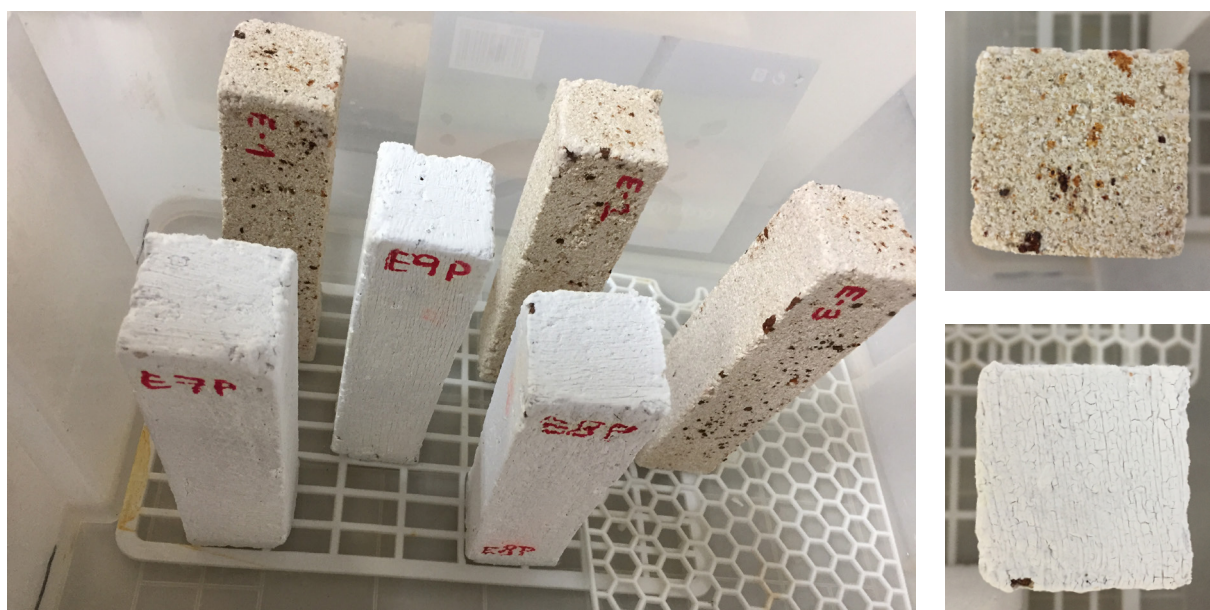


Figura 35 – Ensayo eflorescibilidad [Ev y EvP], inicio del ensayo. Imagen del autor.

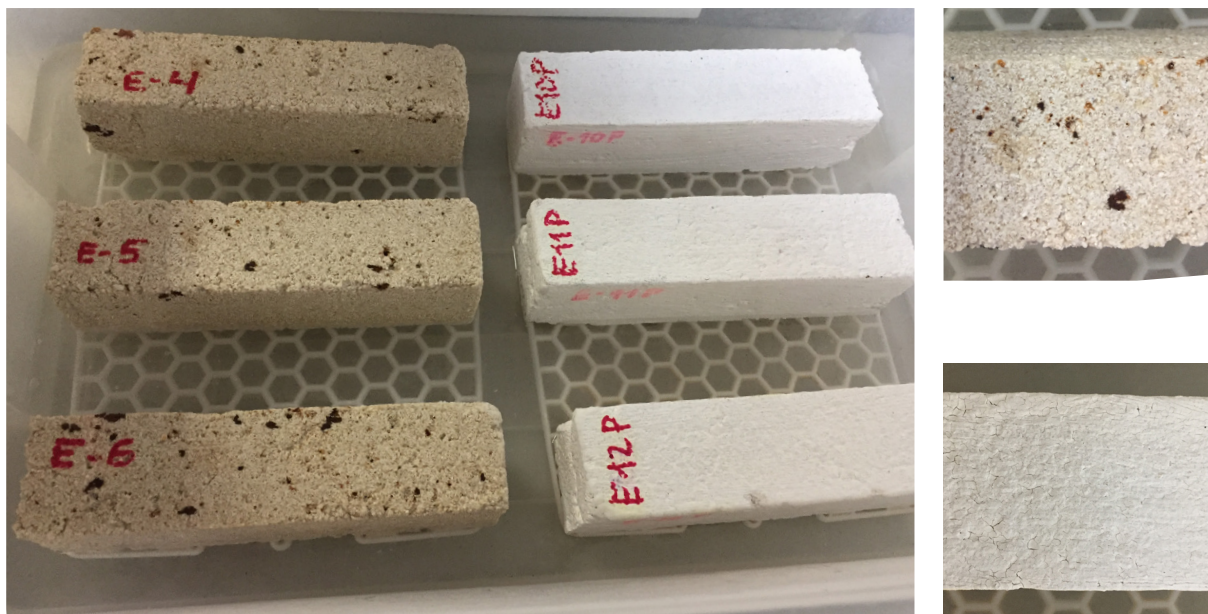


Figura 36 – Ensayo eflorescibilidad [Eh y EhP], inicio del ensayo. Imagen del autor.

A los 7 días podemos observar una eflorescibilidad muy evidente en las probetas verticales pintadas [EvP], donde se aprecia una gran aglomeración de sales gruesas en las aristas superiores. En las verticales, pero sin pintura [Ev] se puede vislumbrar una débil capa de sales en su cara superior, cómo podemos observar en la Figura 37. Por el contrario, si se analiza la Figura 38, se ven una pequeña cantidad de sales en las probetas con pintura [EhP] en una de ellas y sólo por una esquina. Se podría afirmar que no hay eflorescibilidad de sales en las probetas dispuestas en horizontal, ni sin pintura [Eh] ni con pinturas [EhP]. Como conclusión del ensayo según norma, podemos afirmar que sólo las probetas verticales han eflorecido [Ev / EvP]. Aunque ninguna de las probetas posee una superficie efloreceda mayor de 12cm².

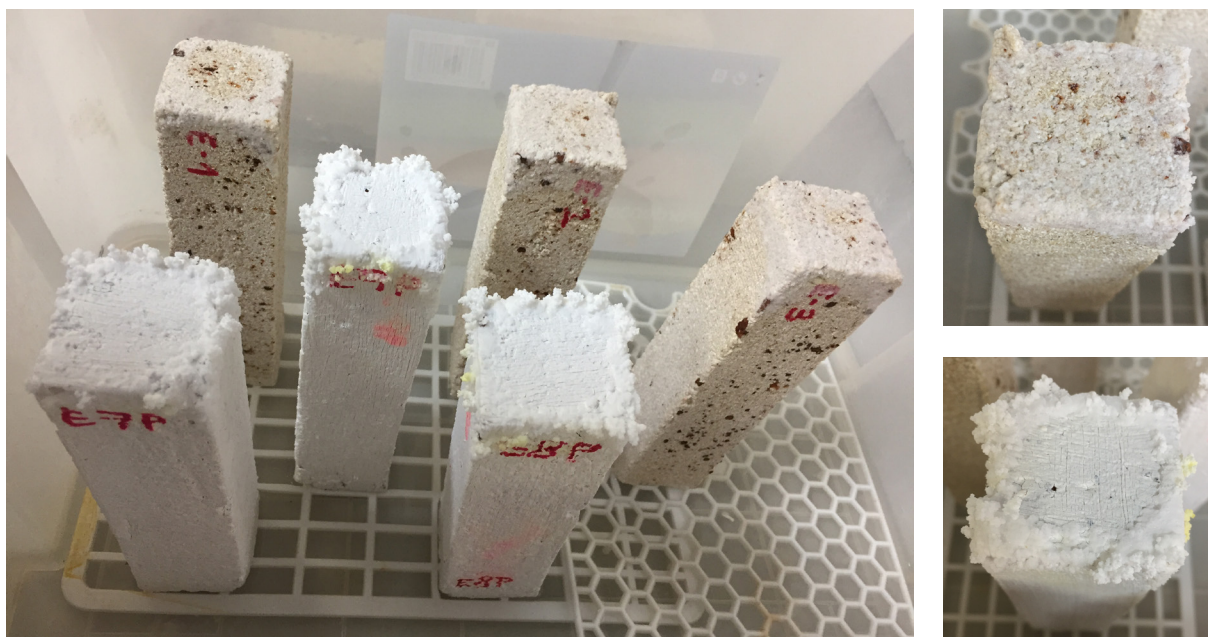


Figura 37 – Ensayo eflorescibilidad [Ev y EvP], a los 7 días. Imagen del autor.

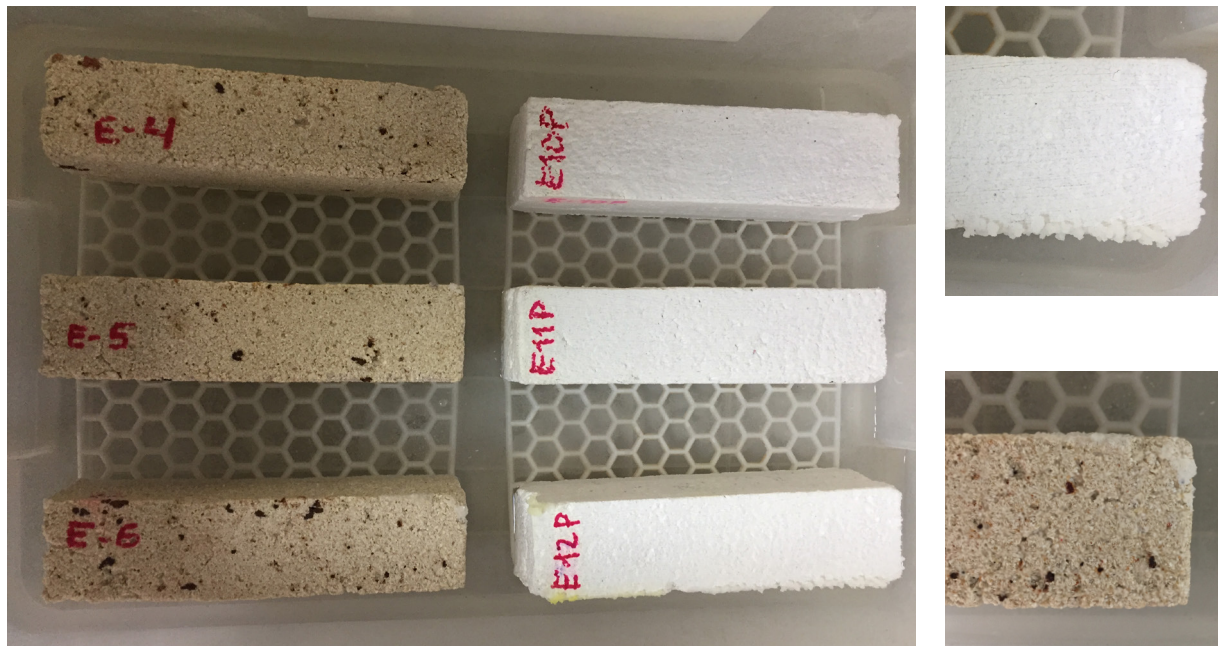


Figura 38 – Ensayo efluorescibilidad [Eh y EhP], a los 7 días. Imagen del autor.

Considerando que 7 días pocos para poder afirmar si las sales han efluorescido o no, se continuará el ensayo 7 días más. Al transcurrir de 14 días desde el inicio del ensayo, observamos que las probetas dispuestas en horizontal [Eh y EhP] siguen sin presentar efluorescencia en su superficie (Figura 40). Las probetas verticales con pintura [EvP] poseen las mismas sales que a los 7 días, aunque en las que no están pintadas [Ev] se empieza a definir más esa superficie efluorescida (Figura 39).

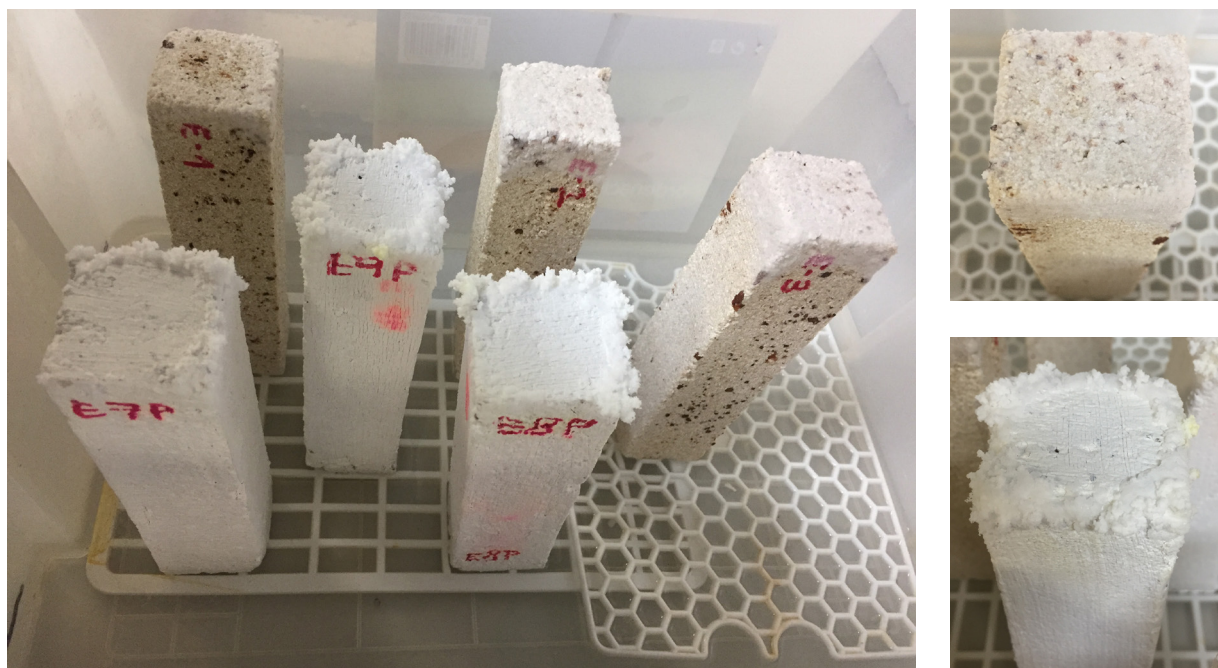


Figura 39 – Ensayo efluorescibilidad [Ev y EvP], a los 14 días. Imagen del autor.

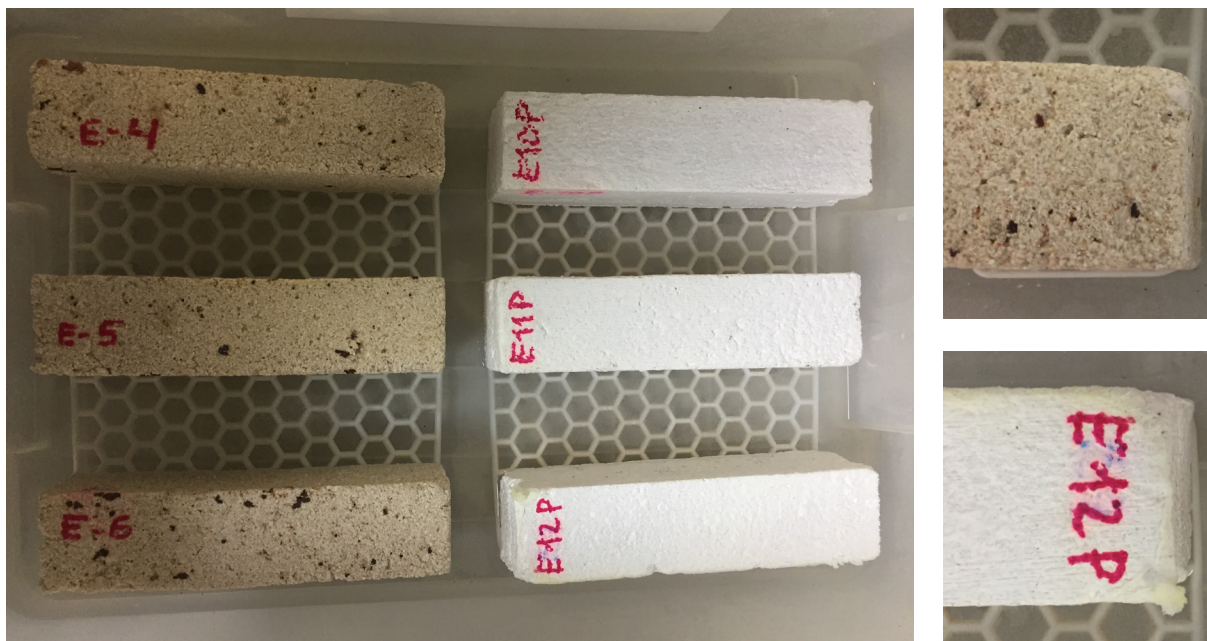


Figura 40 – Ensayo eflorescibilidad [Eh y EhP], a los 14 días. Imagen del autor.

El ensayo ha finalizado a los 21 días, donde se ha podido obtener datos más visibles sobre esta eflorescibilidad del mortero. Es destacable que las probetas verticales pintadas [EvP] no han variado su cantidad de sales eflorescidas desde prácticamente el inicio del ensayo. En cambio, en las probetas verticales sin pintar [Ev] hemos podido observar la progresión paulatina de eflorescencias (Figura 41). Por el contrario, las probetas dispuestas en horizontal no han presentado muestras de eflorescibilidad en el transcurso del ensayo. En esta última observación las probetas horizontales sin pintar [Eh] han mostrados dispersas y leves manchas de sales en sus caras. Pero las probetas horizontales pintadas [EhP] no han mostrado ningún cambio respecto al inicio (Figura 42).



Figura 41 – Probetas del ensayo de eflorescibilidad [Ev (izq) y EvP (drcha)], tras 21 días. Imagen del autor.



Figura 42 – Probetas del ensayo de eflorescibilidad [Eh (izq) y EhP (drcha)], tras 21 días. Imagen del autor.

3-Capilaridad. Tras haber tomado pesos a los 10 minutos y a los 90 minutos, podemos observar la variación de pesos en ese tiempo. Esta variación es la absorción de agua de las probetas.

Peso (gr)	Aumento	Media
C-1	12,40	12,38
C-1.1'	13,10	
C-2	12,23	
C-2.2'	11,19	
C-3	12,77	
C-3.3'	12,58	
C-4P	20,30	20,88
C-4P.4'	20,58	
C-5P	20,20	
C-5P.5'	21,11	
C-6P	21,34	
C-6P.6'	21,74	

Coeficiente absorción de agua		
C-1	0,81	Cm 0,79
C-1.1'	0,85	
C-2	0,79	
C-2.2'	0,69	
C-3	0,83	
C-3.3'	0,79	
C-4P	1,16	Cm P 1,15
C-4P.4'	1,14	
C-5P	1,12	
C-5P.5'	1,19	
C-6P	1,14	
C-6P.6'	1,17	

Tabla 10 - Resultados ensayo de capilaridad [C y CP].

Observando los resultados obtenidos, adjuntados en la Tabla 10, se ve que las probetas con pintura tienen un mayor coeficiente de absorción que las que están parafinadas. Al realizar el ensayo según norma y según situación de servicio, podemos afirmar que siempre la situación de servicio es la más desfavorable. Para obras de rehabilitación siempre será necesario intentar obtener resultados cercanos a la realidad lo más posible.

Este valor más elevado de las probetas de pintura es debido a que esta misma será una capa más impermeabilizante al paso de agua líquida. Es decir actúa como capa hidrofugante, lo que proporciona una buena adherencia y protección con el paramento original.

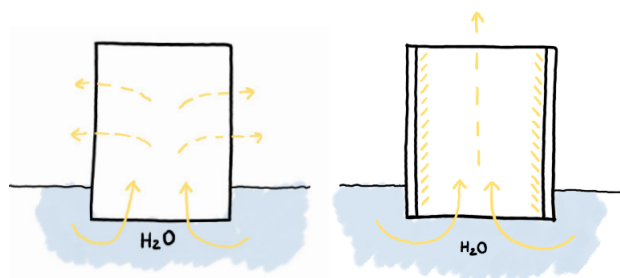


Figura 43 – Esquema análisis de resultados del ensayo de capilaridad. Imagen del autor.

4-Ciclos humectación secado. El objetivo del ensayo es conocer el efecto del agua simulando los cambios a los que se verán sometidos los muros de la salina. Los daños que se pueden establecer son fundamentalmente la acción disgregadora y disolvente del agua.

Para poder establecer el comportamiento diferencial del material frente a agentes de alterabilidad, la pérdida y ganancia de peso es el criterio de análisis que más datos nos aporta sobre las consecuencias de este ensayo sobre las probetas. Nos se observan significantes diferencias entre los valores de las probetas a las que se les ha aplicado pintura y a las que no, con lo que podemos afirmar que la pintura no es un factor determinante.

- Observaciones de la superficie. Tras la toma de datos podemos observar que las probetas han perdido color, han pasado de un gris claro bastante distinguible, a un gris más blanquecino. Las superficies de las probetas se encuentran con una fina capa de material disgregado en polvo, nada muy destacable ya que no se aprecia gran pérdida de sección. Si que se pueden observar pequeñas fisuras muy superficiales en las caras de las probetas, pero sin poner en riesgo la integridad.

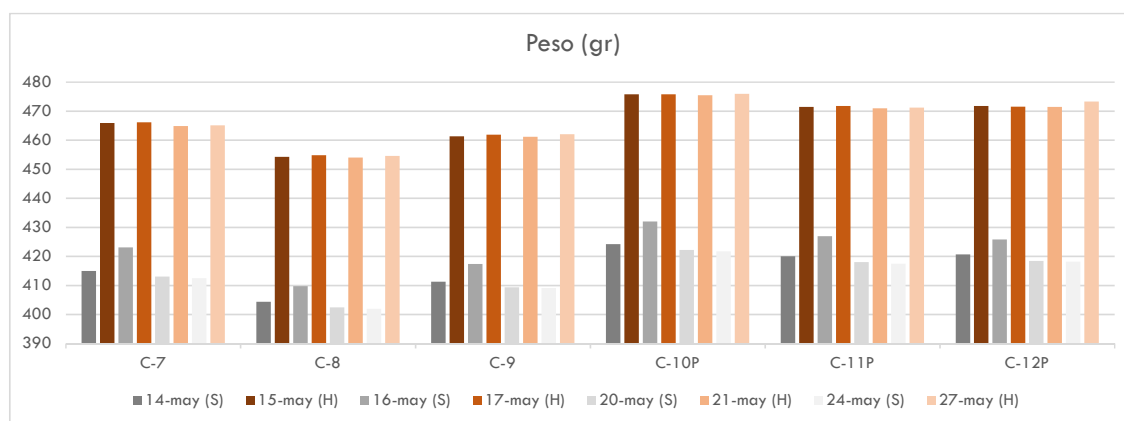
En las siguientes imágenes, Figura 44, se puede observar con más detalle las superficies de las probetas [Chs], pudiendo afirmar que no hay una destacable pérdida de sección ni fisuras en ellas. Las probetas pintadas [ChsP] poseen una mayor integridad debido a la protección que ejerce esta capa superficial, la cual se sacrifica. Esta pintura tras los 4 ciclos presenta desprendimientos, aunque en algunas de ellas se sigue manteniendo más o menos en rasgos generales.



Figura 44 – Observaciones visuales del ensayo de ciclos de humectación - secado [Chs (izq) y ChsP (drcha)]. Imagen del autor.

- Pérdida de peso. Se han recogido todos los pesos en cada cambio de ciclo, pudiéndose observar las variaciones de ganancia y pérdida de peso en función de la fase del ciclo que se encuentre (Gráfica 1). Frente a las variaciones de peso podemos observar que cuando están húmedas siempre se obtiene el mismo peso, es decir, da igual el tiempo que pasen sumergidas porque los poros que tienen son los que se saturan. Otro aspecto que cabe destacar es cómo, tras el primer ciclo, hay un aumento significativo de peso, en todas las probetas.

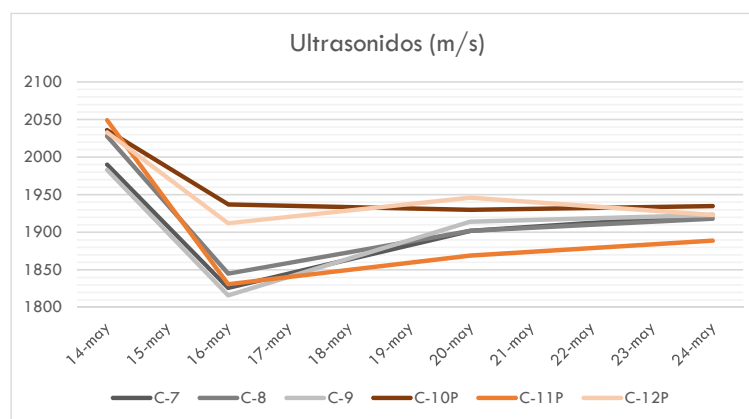
Se puede interpretar que al ser el primer ciclo las probetas sufren una diferencia de condiciones muy drástica, pero en los siguientes ciclos se adapta a esos cambios. Esta primera aproximación es muy interesante porque se evidencia la adaptabilidad al medio que posee este mortero de cal, y debido a que estas situaciones de alteración de condiciones es un hecho muy probable en las salinas, se podría afirmar un buen comportamiento del material en su estado de servicio.



Gráfica 1 - Variaciones de peso tras el ensayo de ciclos de humectación - secado [Chs y ChsP]. Elaboración propia.

- Variaciones de propiedades físicas. Las variaciones de ultrasonidos de estas probetas sometidas a ciclos alternos de humectación-secado muestran cómo todas las probetas siguen una línea similar. Es muy significativo cómo en la segunda toma de datos, tras el primer ciclo, hay un descenso muy pronunciado, que no se producirá en el resto. Se puede interpretar que al ser el primer ciclo las probetas sufren una diferencia de condiciones muy drástica, pero en los siguientes ciclos se adapta a esos cambios. Esta primera aproximación es muy interesante porque se evidencia la adaptabilidad al medio que posee este mortero de cal, y debido a que estas condiciones de alteración de condiciones es un hecho muy probable en las salinas, se podría afirmar un buen comportamiento del material en su estado de servicio.

Se observan diferencias en las variaciones entre probetas con pintura y sin pintura. Las probetas con pintura presentan una linealidad que tienden a encontrarse en un punto. En cambio, las probetas sin pinturas en cada toma de datos poseen un máximo y un mínimo, pero al igual que las otras tienen a encontrarse en un punto. Esto permite pensar que si se continuara con los ciclos se lograría una unificación de los valores sin tener en cuenta las diferencias, ya fueran probetas pintadas o sin pintar (Gráfico 2).



Gráfica 2 - Variaciones ultrasonidos tras el ensayo de ciclos de humectación - secado [Chs y ChsP]. Elaboración propia.

5-Permeabilidad al vapor de agua. “El término de permeabilidad depende directamente de la presión a la cual es sometido el gas contra el sólido, de la superficie que atraviesa y el tiempo de aplicación, a su vez, es inversamente proporcional al espesor del sólido a atravesar” [10]. La permeabilidad de un material o elemento constructivo es la capacidad de dejar pasar un líquido o gas a través de sus poros, es una propiedad muy importante, ya que define la respirabilidad o evaporación de los materiales. El vapor de agua, como la mayoría de los gases, es capaz de atravesar los sólidos. Con este ensayo se han dispuesto las probetas sometidas a diferentes presiones, generadas por las disoluciones NKO_3 y LiCl . Estas han provocado el flujo de vapor de agua a través de las probetas, provocando un flujo ascendente la disolución NKO_3 y descendente la disolución LiCl .

Con este ensayo se registran las variaciones de peso de las probetas, y se puede calcular el equilibrio que se produce en el intercambio de flujos de vapor de agua, entendiendo el funcionamiento del ensayo en las probetas y de cómo eso funciona en la realidad sobre un paramento vertical. También ha permitido ver cómo influye entre una probeta sin pintar y otra con pintura de cal en su cara exterior.

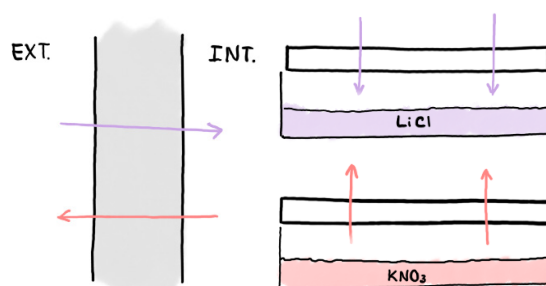


Figura 45 – Esquema análisis de resultados del ensayo de permeabilidad. Imagen del autor.

Los valores obtenidos se encuentran prácticamente igualados en ambos tipos de probetas, siendo en el intervalo de referencia de 7 a 9 μ (Tabla 11). Podemos afirmar que no es muy significativa la diferencia de coeficiente que presentan las probetas sin pintar y pintadas.

Coefficiente de permeanza (28 días)	CLB	S_CLB	S_CLB P
Disolución KNO ₃	9	7	8
Disolución LiCl	7	8	9

Tabla 11 - Análisis coeficiente de permeanza tras ensayo de permeabilidad [P y PP].

Compararemos nuestros datos de permeabilidad, con los datos de mortero de cal que tomamos como base [9], para poder comprobar las propiedades frente a permeabilidad. Estos valores tan igualados son un resultado muy positivo del buen comportamiento de las probetas frente a la permeabilidad, tanto si es ascendente como descendente.

Una buena permeabilidad en las probetas queda justificada cuanto más cercanos están sus valores de permeanza de ambas disoluciones. Ya que se garantiza que independientemente de que el flujo sea ascendente o descendente el material tendrá una buena capacidad para regular la humedad de un determinado recinto. Esta igualdad de coeficientes se consigue cuanto mayor carbonatación tengan las probetas [9], se adjuntas las tablas del documento en la Figura 46.

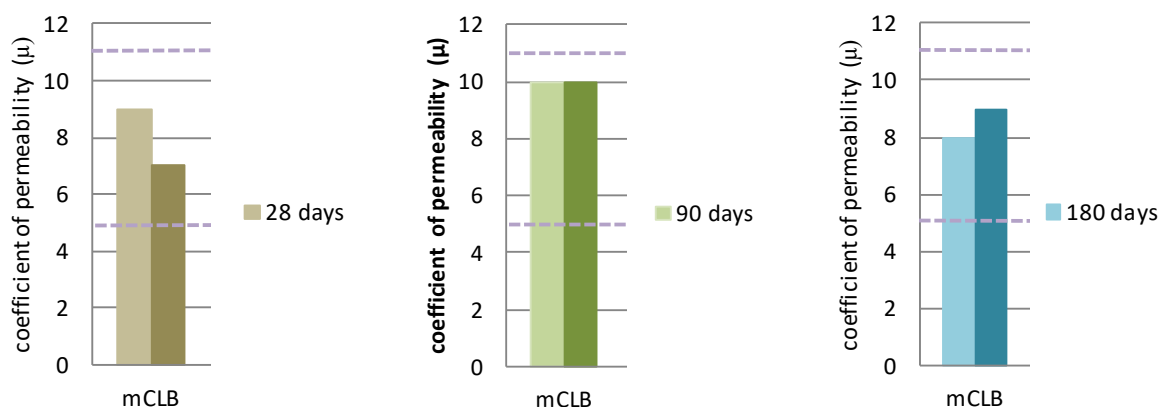


Figura 46 – Tablas variación de la permeanza a mayor carbonatación. Fuente: Comparative analysis of permeability values of traditional aerial lime mortars for preventive conservation. [9].

7.2. Análisis de resultados

Como apartado final de este análisis de resultados, se muestra una comparación de resistencias de todas las probetas tras la realización de los ensayos. Esto permite de una manera más gráfica y clara cómo afectan estos ensayos, necesarios para una correcta caracterización, a las resistencias de cada probeta. Se puede comparar con el mortero prescrito por el fabricante [CLB], el mortero que se propone amasado con sal [S_CLB] y de este mortero todas probetas con las que se ha trabajado. También nos permite analizar el comportamiento de probetas con pintura y sin pintura.

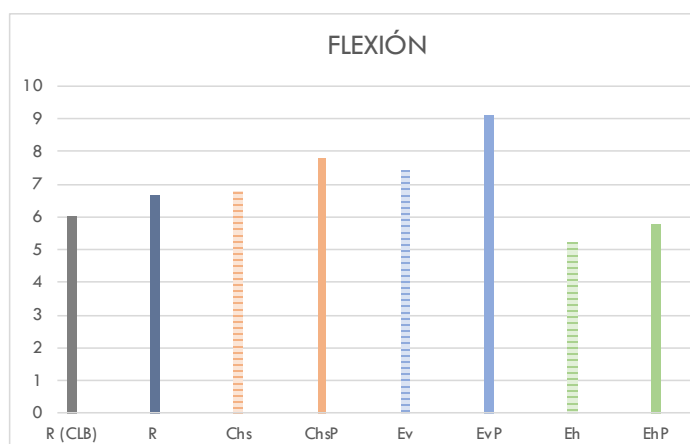


Gráfico 3 - Comparativa resistencia a flexión tras ensayos. Elaboración propia.

Debido a la agregación de sales al mortero de cal, al ser sometidas al ensayo de flexión podemos observar que a mayor cantidad de sales mayor es su resistencia a flexión. Lo podemos observar comparando la resistencia a flexión de CLB y el valor superior de la resistencia de S_CLB. O la resistencia a flexión que presentan las probetas sometidas al ensayo de resistencia y las probetas sometidas al ensayo de eflorescibilidad, siendo las EvP las probetas que mayores sales presentaban.

No es un aumento muy destacable, pero sí que nos ayuda a justificar y afirmar que las sales no merman la resistencia a flexión del mortero de cal. Otra observación importante es que las probetas a las que se les ha aplicado pintura presentan mayor resistencia a flexión que las que no. La pintura proporciona mayor compacidad y cierre de poros del mortero, con lo que permite que soporte más carga.

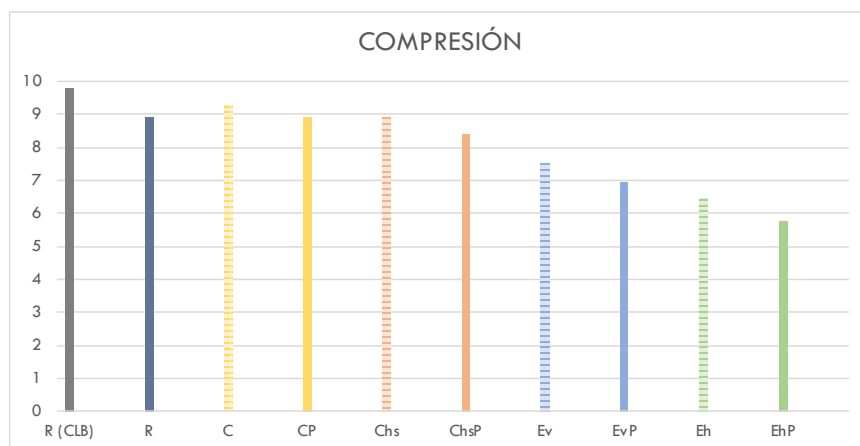


Gráfico 4 - Comparativa resistencia a compresión tras ensayos. Elaboración propia.

Los resultados obtenidos tienen mucho sentido que las resistencias sean más bajas, que las probetas que no se les ha hecho ningún procedimiento experimental.

El efecto de la capilaridad es un factor muy importante para el desarrollo de este mortero. Podemos observar cómo la pintura llega a proteger de la pérdida de resistencia por capilaridad casi al 100%, con respecto a la probeta de referencia. Debido a que el problema en esta rehabilitación son humedades por capilaridad tendría mucho sentido la aplicación de esta pintura.

Los ciclos de humectación secado, se observa una pequeña pérdida de resistencia, pero no es tan grave frente a otros materiales. En estas probetas el efecto de la pintura afecta a la pérdida de resistencia.

Las probetas del ensayo de eflorescibilidad dispuestas en vertical presentan menor pérdida de resistencia que las horizontales. A pesar de que en vertical sería la situación normal de un revestimiento, en el caso de estudio su situación de servicio es otra diferente.

Las probetas que presentan mayor pérdida de resistencia son las del ensayo de eflorescibilidad dispuestas en horizontal. En la rehabilitación será esta la situación más probable, la situación de servicio donde el empuje posee una elevada superficie horizontal, que es donde el material sufre más porque esta mucho más agredido.

El hecho de poner pintura tiene diversos efectos, dependiendo del tipo de ensayo que se ha realizado. En algunos casos supone una mejora eflorescibilidad, ciclos de humectación y secado y capilaridad, en otros no tiene efecto aparente permeabilidad y resistencia, aunque sí es importante el beneficio que supone como protección frente a humedades capilares.

8. CONCLUSIONES

El revestimiento de un muro, como elemento arquitectónico, debe cumplir ciertas funciones, estas adquieren mayor importancia cuando se trata de una rehabilitación. Debido a que se aplicará sobre paramentos que tengan daños previos. Este revestimiento debe actuar como capa protectora y de mantenimiento, condiciones que se garantizan si hay una buena adherencia con el muro y el material permite la respirabilidad del elemento. Todo ello se basa en la compatibilidad entre los materiales del muro base y del revestimiento una adecuada elección garantizará la durabilidad y aportará la estética que se decida en proyecto.

La rehabilitación de los muros de la salina, formados por mampostería de piedra tomada con mortero de cal, son un buen ejemplo y un caso de estudio muy interesante para verificar la eficacia de una buena solución para los problemas derivados de la compatibilidad muro soporte. En este entorno singular, la presencia de sales solubles en abundancia muestra, tanto los efectos de las afecciones en los soportes, como los materiales que han sido capaces de mantener su durabilidad en estas condiciones extremas. Por tanto, plantear la investigación de la idoneidad de revestimientos es un caso de estudio relevante del que se puede obtener información muy valiosa tanto para el aprendizaje del que lo realiza como para la toma de decisiones en la adecuación de materiales en estas circunstancias de trabajo..

El mortero de cal amasado con cloruro sódico pretende abrir la posibilidad de que en ambientes costeros se pueda construir con agua salada. En el caso de Lanzarote, es un aspecto muy positivo para la mejora de la construcción en la isla, en búsqueda de una construcción más sostenible. Debido a la escasez de agua dulce para consumo humano, se pretende disminuir este impacto medioambiental de tener que importar agua dulce para esta práctica.

Para la caracterización de este mortero, se han realizado una serie de ensayos que pretenden forzar la integridad del material. Todos estos ensayos, los cuales se han dimensionado a la duración del trabajo, han aportado unos datos experimentales que permiten su análisis. Estas propiedades analizadas, han permitido la obtención de datos más enfocados en la rehabilitación a realizar.

Si evaluamos en general los resultados, se observa que estas adaptaciones han sido muy positivas en la aproximación al estado de servicio que tendrán estos morteros. Una de las incorporaciones importantes a los ensayos es duplicarlos para probetas con acabado de pintura y sin él, permitiéndonos valorar si esa capa protectora y estética produce mejoras o desventajas en su aplicación.

Los valores obtenidos del mortero de cal que se propone verifican la calidad de sus componentes y confirman su capacidad para poder estar en ambientes costeros. Por sus buenos resultados de resistencias, los cuales son muy semejantes a un mortero de cal base, e incluso tras los ensayos que buscaban poner al límite al material. Algunos de estos ensayos buscaban la cristalización de sales y que estas provocaran una disgregación del material, pero no se ha provocado dicha situación. Por otro lado, la pintura presenta una ventaja frente a estas eflorescibilidades: las reconduce hacia un punto y es en él donde se concentra toda esta cristalización de sales. Por el contrario, cuando las probetas no poseen pintura se produce un reparto de estas sales en una capa muy fina pero que abarca mayor superficie.

Otra de las ventajas de la pintura de cal es que, aparte de ser una capa protectora del mortero, actúa como material hidrofugante. Esto impide la entrada del agua líquida en los poros del mortero, aunque permite la respirabilidad del muro. Es decir, sella los poros de entrada, pero permite que se regule la temperatura y humedad con el medio ambiente.

Las características analizadas muestran la estabilidad y durabilidad de los morteros como productos utilizados para la rehabilitación y restauración del patrimonio arquitectónico. Su funcionalidad, estética y compatibilidad con los más diversos soportes arquitectónicos es más que suficiente para reivindicar el empleo de morteros de cal en las obras de restauración.

9. BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

1. CAZALLA VÁZQUEZ, O. (2002) *Morteros de cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico*. Universidad de Granada. Departamento de Mineralogía y Petrología.
2. ONTIVEROS ORTEGA, E. (2013) *Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas*. Artículo Patrimonio Histórico nº34.
3. PRADO GOVEA, R.H.; CERECEDA, M.L.; SPAIRANI BERRIO, Y; HUESCA TORTOSA, J.A. (2009) *Estudio y caracterización de morteros para la restauración arquitectónica*. Departamento Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante.
4. LUENGO BARRETO, A. (2018) *Proyecto Ejecución Restauración Paisajística de las Salinas del Río, 1º Fase. Centros de arte, cultura y turismo*. Cabildo de Lanzarote.
5. GALTIER BARROSO, G. (2015) *La evolución de los sistemas constructivos y estructurales en Las Palmas de Gran Canaria (1478-1950)*. Tesis Doctoral Departamento de Construcción Arquitectónica, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
6. HERNÁNDEZ DELGADO, F; RODRÍGUEZ ARMAS, M.D. (2010) *Hornos de cal (Caleras) Lanzarote*. Archivo Histórico de Tegui. Digitalización Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
7. MIRELES BETANCOR, F. (2011) *Juan de León y Castillo, y el uso tradicional de la cal*. I Jornadas de Cultura del Agua.
8. ESBERT, R; ORDAZ, J; ALONSO, F.J; MONTOTO, M. (1997) *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos*. Colegio de aparejadores y arquitectos técnicos de Barcelona.
9. ONTIVEROS ORTEGA, E; RODRÍGUEZ GARCÍA, R; GONZÁLEZ SERRANO, A; MOLINA, L. (2019) *Comparative analysis of permeability values of traditional aerial lime mortars for preventive conservation*. Historic Mortars Conference 2019, Pamplona.
10. GONZALEZ SERRANO, A. (2015) *Revocos de tierra cruda: Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción*. ETSA de Sevilla.

ENLACES WEB:

- <http://www.gordilloscaldemoron.com/>
- <https://lanzaroteinexplorada.blogspot.com/2015/02/caleras-de-la-villa-de-teguise-1-parte.html>
- <http://lanzaroteinedita.blogspot.com/2013/07/caleras-de-lanzarote.html>
- <https://www.viajeroerrante.com/10-paisajes-de-lanzarote-vacaciones/>

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- ONTIVEROS ORTEGA, E. (2013) Programa de normalización de estudios previos y control de calidad en las intervenciones: morteros empleados en construcciones históricas. Artículo Patrimonio Histórico nº34.
- CAZALLA VÁZQUEZ, O. (2002) Morteros de cal. Aplicación en el Patrimonio Histórico. Universidad de Granada. Departamento de Mineralogía y Petrología.
- PRADO GOVEA, R.H.; CERECEDA, M.L.; SPAIRANI BERRIO, Y; HUESCA TORTOSA, J.A. (2009) Estudio y caracterización de morteros para la restauración arquitectónica. Departamento Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante.
- ONTIVEROS ORTEGA, E; RUIZ AGUDO, E.M.; ONTIVEROS ORTEGA, A. (2018) Thermal decomposition of the CaO in traditional lime kilns. Applications in cultural heritage conservation. Artículo Construction and Building Materials.
- DÍAZ HERNÁNDEZ, R. (2008) Agua, patrimonio y paisaje en Canarias. Departamento de Geografía de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- GALTIER BARROSO, G. (2015) La evolución de los sistemas constructivos y estructurales en Las Palmas de Gran Canarias (1478-1950). Tesis Doctoral Departamento de Construcción Arquitectónica, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- HERNÁNDEZ DELGADO, F; RODRÍGUEZ ARMAS, M.D. (2010) Hornos de cal (Caleras) Lanzarote. Archivo Histórico de Tegui. Digitalización Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- GONZALEZ SERRANO, A. (2015) Revocos de tierra cruda: Especificaciones técnicas para el empleo de morteros preparados de arcillas en construcción. ETSA de Sevilla.
- GISBERT AGUILAR, J; MATEOS ROYO, IGNACIO; SOMOVILLA DE MIGUEL, I. (2011) Colegio Oficial de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Huesca.
- MIRELES BETANCOR, F. (2011) Juan de León y Castillo, y el uso tradicional de la cal. I Jornadas de Cultura del Agua.
- ONTIVEROS ORTEGA, E; RODRÍGUEZ GARCÍA, R; GONZÁLEZ SERRANO, A; MOLINA, L. (2018) Evolution of mechanical properties in aerial lime mortars of traditional manufacturing, the relationship between putty and powder lime. Artículo Construction and Building Materials.
- ESBERT, R; ORDAZ, J; ALONSO, F.J; MONTOTO, M. (1997) Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. Colegio de aparejadores y arquitectos técnicos de Barcelona.
- ONTIVEROS ORTEGA, E; RODRÍGUEZ GARCÍA, R; GONZÁLEZ SERRANO, A; MOLINA, L. (2019) Comparative analysis of permeability values of traditional aerial lime mortars for preventive conservation. Historic Mortars Conference 2019, Pamplona.
- LUENGO BARRETO, A. (2018) Proyecto Ejecución Restauración Paisajística de las Salinas del Río, 1º Fase. Centros de arte, cultura y turismo. Cabildo de Lanzarote.
- MANRÍQUE, C. (1974) Lanzarote. Arquitectura inédita. Cabildo de Lanzarote.

NORMATIVA DE REFERENCIA

- UNE-EN 1015-3:2000/A1. 2005. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 3: Determinación de la consistencia del mortero fresca (por la mesa de sacudidas).
- UNE-EN 1015-6:1999/A1. 2007. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 6: Determinación de la densidad aparente del mortero fresca.
- UNE-EN 1015-10. 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido.
- UNE-EN 1015-11. 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido.
- UNE-EN 1015-12. 2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 12: Determinación de la resistencia a la adhesión de los morteros para revoco y enlucido aplicados a soportes.
- UNE- EN 1015-18. 2003. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 18: Determinación del coeficiente de absorción de agua por capilaridad del mortero endurecido.
- UNE-EN 1015-19:1999/A1. 2005. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 19: Determinación de la permeabilidad al vapor de agua de los morteros para revoco y enlucido.
- UNE 83830 EX. 2010. Morteros. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Determinación de la capacidad de eflorescer de los morteros para albañilería endurecidos.

ANEXO

S_CLB		Dosificación (gr)	Cal (gr)	Sal (gr)	Agua (gr)	Correction (gr)
		27,5		0,207	22 % = 6	28+2=30%
FECHA: 3/04/2019						
CONSISTENCIA - UNE EN 101.5-3 :2000						
50 probetas						
1ra muestra		2da muestra		Valor medio de escurrimiento		
Ø Horizontal (mm)	135,00	Ø Horizontal (mm)		< 10 % valor individual		
Ø Vertical (mm)	132,00	Ø Vertical (mm)		> 10 % valor individual		
Valor de escurrimiento		Valor de escurrimiento		60,08		
133,50		0,00		73,43		
DENSIDAD APARENTE : UNE-EN 101.5-6: 1999/A1 (2007)						
50 probetas						
1ra pesada	m2 =	2812,85	- 952,27 / 1,100	Pm1 =	Valor medio de densidad	10%
					1698,95	< 10 % valor individual
2da pesada	m2 =	0	- 952,27 / 1,100	Pm2 =	420,39	378,35
					462,43	
ESTABILIDAD DIMENSIONAL: UNE 83831 EX: 2010.						
6 probetas (6 probetas)						
MEDIDAS		Prob	FASES			
Peso (grs)			Desmolde 2d	7 días	14 días	28 días
	R-1			467,34	409,08	410,23
	R-2			479,05	417,52	418,87
	R-3			473,23	412,39	414,41
	R-4			457,24	398,97	401,87
	R-5			459,54	400,90	404,49
	R-6			460,29	402,85	406,97
Valores medios			0,00	473,21	413,00	414,50
Resultados			0,00	0,93	0,81	0,81
					325,18	0,64
					Valores medios totales	
					OBSERVACIONES	

Tabla A1 - Datos de Consistencia y Densidad Apparente del mortero propuesto S_CLB.

Probetas	Datos	14-may Secas	15-may Húmedas	16-may Secas	17-may Húmedas	20-may Secas	21-may Húmedas	24-may Secas	27-may Húmedas
C-7	Peso (gr)	414,97	465,88	423,06	466,16	413,04	464,88	412,43	465,09
	Medida (mm)	40,1 38,2 159,9	40 38,5 159,8	40 38,1 159,9	40,2 38,6 159,9	40 38,6 159,9	40 38,7 159,9	40,2 38,5 159,8	40,1 38,6 159,8
	Ultrasonido (m/s)	1990	-	1826	-	1902	-	1923	-
C-8	Peso (gr)	404,32	454,2	409,69	454,8	402,4	454,02	401,91	454,57
	Medida (mm)	39,8 39 159,9	39,6 38,5 159,7	39,7 39,4 159,8	40,2 39,1 159,6	39,7 39 159,6	40 39,2 159,7	39,7 39 159,7	39,7 39,2 159,6
	Ultrasonido (m/s)	2028	-	1845	-	1902	-	1918	-
C-9	Peso (gr)	411,25	461,29	417,37	461,91	409,34	461,12	409,11	462
	Medida (mm)	40,1 39,3 159,7	39,9 38,8 159,7	39,9 39,1 159,8	40,1 39,1 159,8	39,9 39 159,7	39,9 39 159,7	39,9 39,1 159,8	39,9 39 159,8
	Ultrasonido (m/s)	1983	-	1816	-	1914	-	1923	-
C-10P	Peso (gr)	424,15	475,77	432,01	475,76	422,16	475,48	421,67	475,93
	Medida (mm)	40 38,7 159,9	39,8 38,6 159,9	39,9 39,4 159,9	39,9 39,5 159,8	40,1 39,8 159,8	40,1 39,8 159,8	40,1 39,3 159,8	40 39,2 159,8
	Ultrasonido (m/s)	2036	-	1937	-	1930	-	1935	-
C-11P	Peso (gr)	419,99	471,46	426,95	471,79	418	470,97	417,44	471,16
	Medida (mm)	40 39,2 159,8	39,9 39,2 159,8	40,2 39,2 159,9	40 39,6 159,8	39,9 39,7 159,8	40,2 39,4 159,9	39,9 39,3 159,8	39,8 39,2 159,7
	Ultrasonido (m/s)	2049	-	1831	-	1869	-	1889	-
C-12P	Peso (gr)	420,62	471,79	425,83	471,48	418,36	471,45	418,15	473,28
	Medida (mm)	40 39 159,9	40 38,7 159,8	40 38,6 159,8	40 38,6 159,8	40,1 38,8 159,8	40,1 38,7 159,9	40,2 38,7 159,7	39,9 38,7 159,8
	Ultrasonido (m/s)	2033	-	1912	-	1946	-	1923	-

Tabla A2 - Recopilación de datos del ensayo de ciclos humectación-secado.

	PROBETA	Peso inicial probeta	Espesor probeta (cuadrantes)				Valor medio espesor
			a	b	c	d	
DISOLUCIÓN KNO ₃ (9,3%)	P-1	354,45	11,4	11,2	10,5	9,9	10,8
	P-2	306,22	9,5	9,8	9,3	10,4	9,8
	P-3	339,45	10,6	9,6	10,5	10,9	10,4
	P-4	365,74	-12,4	11,5	10,7	11,3	5,3
	P-5	340,63	12,2	10,5	9,8	10,9	10,9
DISOLUCIÓN Cl ₂ (12,4%)	P-6	350,58	11,8	11,9	10,2	10,7	11,2
	P-7	335,74	10,4	10,8	10,6	10,7	10,6
	P-8	324,44	10,2	10,5	10,3	10,3	10,3
	P-9	346,04	10,3	11,6	10,3	10,3	10,6
	P-10	345,99	10,8	11,6	11,0	10,2	10,9

Tabla A3 - Espesores probetas ensayo de permeabilidad [P].

	PROBETA	Peso inicial probeta	Espesor probeta (cuadrantes)				Valor medio espesor
			a	b	c	d	
DISOLUCIÓN KNO ₃ (92,3%)	P-1 P	334,45	9,6	10,3	10,1	9,7	9,9
	P-2 P	393,02	12,6	11,7	11,9	12,8	12,3
	P-3 P	369,96	1,0	11,2	11,7	10,8	8,7
	P-4 P	361,95	10,6	11,2	10,9	11,2	11,0
	P-5 P	344,02	10,4	10,5	10,7	10,6	10,6
DISOLUCIÓN CLi (12,4%)	P-6 P	378,29	10,7	11,2	11,6	11,5	11,3
	P-7 P	350,16	10,7	10,6	10,0	11,0	10,6
	P-8 P	358,52	10,4	10,0	11,2	11,4	10,8
	P-9 P	362,77	11,5	11,4	11,1	10,5	11,1
	P-10 P	360,25	10,8	10,4	11,3	10,4	10,7

Tabla A4 - Espesores probetas ensayo de permeabilidad [PP].

Resistencia Flexión	Kgf	kg/cm2	
R-1	21	R (CLB)	6,00
R-2	31		
R-3	25		
R-4	27	R	6,68
R-5	31		
R-6	37		
C-7	25	Chs	6,80
C-8	31		
C-9	31		
C-10P	32	ChsP	7,81
C-11P	32		
C-12P	36		
E-1	26	Ev	7,42
E-2	31		
E-3	38		
E-7P	38	EvP	9,14
E-8P	40		
E-9P	39		
E-4	25	Eh	5,23
E-5	20		
E-6	22		
E-10P	26	EhP	5,78
E-11P	25		
E-12P	26		

Tabla A5 - Resistencia a flexión de las probetas tras los ensayos.

Resistencia Compresión	kgf		kg	kg/cm2
	A	B	Media	
R-1	126	123	124,50	R (CLB) 9,80
R-2	128	131	129,50	
R-3	124	137	130,50	
R-4	156	148	152,00	R 8,90
R-5	168	147	157,50	
R-6	170	167	168,50	
C-1	145	123	134,00	C 9,27
C-2	140	127	133,50	
C-3	142	129	135,50	
C-4P	157	148	152,50	CP 8,88
C-5P	134	160	147,00	
C-6P	193	150	171,50	
C-7	117	116	116,50	Chs 8,90
C-8	136	133	134,50	
C-9	124	142	133,00	
C-10P	124	144	134,00	ChsP 8,40
C-11P	134	138	136,00	
C-12P	151	132	141,50	
E-1	101	107	104,00	Ev 7,53
E-2	104	97	100,50	
E-3	118	132	125,00	
E-7P	98	90	94,00	EvP 6,92
E-8P	116	131	123,50	
E-9P	101	102	101,50	
E-4	87	96	91,50	Eh 6,41
E-5	96	92	94,00	
E-6	87	96	91,50	
E-10P	101	94	97,50	EhP 5,76
E-11P	94	77	85,50	
E-12P	92	94	93,00	

Tabla A6 - Resistencia a compresión de las probetas tras los ensayos.